



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**PETROGRAFÍA Y CALCOGRAFÍA DE FASES SULFURADAS EN EL
DISTRITO PUNTA DEL COBRE, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE:
IMPLICANCIAS METALOGÉNICAS.**

Jelinka Andrea Ignacia Gallardo Alfaro

Copiapó, Chile 2022



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**PETROGRAFÍA Y CALCOGRAFÍA DE FASES SULFURADAS EN EL
DISTRITO PUNTA DEL COBRE, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE:
IMPLICANCIAS METALOGÉNICAS.**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de GEÓLOGO”

Profesor guía: Dr. Karl Riveros Jensen

Jelinka Andrea Ignacia Gallardo Alfaro

Copiapó, Chile 2022

El presente trabajo de titulación se desarrolló en el marco del proyecto FIC-FNDR 2018 denominado "Núcleo de investigación del cobalto y tierras raras", financiado por el Gobierno Regional de Atacama y sus Fondos para la Innovación y Competitividad (FIC).



“La tierra tiene música para los que escuchan”.

George Santayana.

Dedicado a mi tata, quien estaría muy orgulloso.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a los miembros de mi comisión evaluadora Dr. Wolfgang Griem, Sr. Francisco Tapia y en especial a mi profesor guía Dr. Karl Riveros por aconsejar, ayudar, dedicar su tiempo a cada revisión y aclarar todas las consultas que surgían en el camino siempre con la mejor disposición.

Le agradezco a mis padres Andrea Alfaro Cortes y Patricio Gallardo Flores quienes desde el primer momento en que decidí estudiar en otra región me apoyaron de manera incondicional y a mi familia en general por siempre creer en mí durante todos estos años. Además, a mis amadas mascotas quienes son mi alegría.

A todas las personas que han estado a mi lado a lo largo de este proceso universitario en especial a mis queridas amistades Tamara Castillo, Romina Rojas, Sebastián Fernández, Patricia Vásquez, Jorge Mena y Francisca Galilea por su cariño, comprensión, risas y apoyo diario. Además, le agradezco a mis compañeros del proyecto de tesis Valentina Pérez, Alejandro Funes, Jorge Cabrera, y Tomas Godoy por su ayuda, ánimo y compañía durante los días de trabajo en el laboratorio de microscopia.

Finalmente deseo agradecer al departamento de Geología y a nuestra casa de estudios, a ustedes les debo mis conocimientos y las experiencias que me hicieron crecer como persona.

Sin todos ustedes este trabajo de titulación no sería posible.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con recursos del proyecto FIC-FNDR 2018 del Gobierno Regional de Atacama llevado a cabo por académicos y alumnos tesistas del Departamento de Geología de la Universidad de Atacama. La zona de estudio de este trabajo está ubicada en la comuna de Tierra Amarilla y corresponde a las minas Punta del Cobre, Mantos de Cobre y Granate, pertenecientes a Pucobre S.A, las cuales forman parte del distrito Punta del Cobre. Estos depósitos han sido clasificados como IOCG, cuya mineralización característica corresponde a minerales hipógenos tales como calcopirita, pirita, magnetita y hematita. El objetivo principal de este estudio se orienta a reconstruir temporalmente los diferentes eventos hidrotermales asociados a la mineralización de fases sulfuradas de hierro y hierro-cobre en los depósitos del distrito Punta del Cobre, caracterizando mineralógicamente y texturalmente los diferentes eventos mineralizadores, aportando así nuevas evidencias paragenéticas. Desde el punto de vista metodológico se estudiaron muestras desde nueve sondajes representativos mediante el uso de microscopía óptica de luz transmitida y reflejada para la correcta caracterización tanto de la mineralización como de las alteraciones. En las muestras estudiadas se reconocen 16 eventos de alteración hidrotermal acompañados de mineralización de pirita y calcopirita. En orden cronológico los eventos corresponden a: brecha hidrotermal de magnetita-pirita-calcopirita, vetas de: pirita-calcopirita-clorita; pirita-calcopirita; pirita-calcopirita-piroxeno; pirita-calcopirita-anfíboles; pirita-calcopirita-epidota-clorita; pirita-calcopirita-calcita-hematita especular; pirita-calcopirita-pirrotina-clorita-actinolita; pirita-calcopirita-hematita; stockwork de mushketovita-pirita-calcopirita-calcita; vetas de epidota-calcita-pirita-calcopirita; stockwork de cuarzo-pirita-calcopirita; vetas de: pirita-calcopirita-calcita; pirita-calcita-cuarzo; pirita-calcopirita-epidota-clorita-anfíbol y pirita-calcopirita-epidota-feldespatos potásico-calcita. La mineralización de calcopirita-pirita en los depósitos se aloja principalmente en zonas con alteración a feldespatos potásicos y magnetita masiva. Para el caso de la pirrotina, su ocurrencia solo se registró en mina Granate cortando a la epidota. El modo de ocurrencia general de la mineralización es diseminado y en vetas. Se observaron texturas de crecimiento, reemplazo, inclusiones, relleno de fracturas que permiten distinguir la ocurrencia de una pirita I y II según relaciones de corte con calcopirita.

ABSTRACT

This work was developed with resources from the FIC-FNDR 2018 project of the Regional Government of Atacama carried out by academics and thesis students from the Department of Geology of the University of Atacama. The study area of this work is located in Tierra Amarilla and corresponds to Punta del Cobre, Mantos de Cobre and Granate mines, belonging to Pucobre S.A, which are part of the Punta del Cobre district. These deposits have been classified as IOCG, whose characteristic mineralization corresponds to hypogene minerals such as chalcopyrite, pyrite, magnetite and hematite. The main objective of this study is to temporarily reconstruct the different hydrothermal events associated with the mineralization of iron and iron-copper sulfide phases in the deposits of Punta del Cobre district, establishing the mineralogical, textural and chronological features of the events providing new paragenetic evidence. From the methodological point of view, samples from nine representative drillholes were studied by light microscope in order to define mineralization and alterations events. In these samples, 16 hydrothermal alteration events associated with pyrite and chalcopyrite mineralization were recognized. In chronological order the events correspond to: a hydrothermal magnetite-pyrite-chalcopyrite breccia body, followed by veins of: pyrite-chalcopyrite-chlorite; pyrite-chalcopyrite; pyrite-chalcopyrite-pyroxene; pyrite-chalcopyrite-amphiboles; pyrite-chalcopyrite-epidote-calcite; pyrite-chalcopyrite-calcite-specular hematite; pyrite-chalcopyrite-pyrrotin-chlorite-epidote-actinolite; pyrite-chalcopyrite-hematite; pyrite-chalcopyrite-mushketovita-calcite stockwork; veins of epidote-pyrite-chalcopyrite-calcite; quartz-pyrite-chalcopyrite stockwork; veins of: pyrite-chalcopyrite-calcite; pyrite-calcite-quartz; pyrite-chalcopyrite-epidote-chlorite-amphibole and pyrite-chalcopyrite-epidote-calcite-K-feldspar. The mineralization of chalcopyrite-pyrite in the deposits is mainly related to the potassic alteration and massive magnetite zones. In the case of pyrrotine, its occurrence was only recorded in the Ganate mine cutting to epidote. The general mode of occurrence of mineralization is disseminated and veins. Growth textures were observed, replacement, inclusions, fracture filling, that allow to distinguish between the occurrence of pyrite I and II according to their crosscutting relationships with chalcopyrite.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación y contexto del problema de investigación.....	1
1.2 Hipótesis de trabajo.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4 Área de estudio, ubicación y accesos	3
CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO	4
2.1 Depósito tipo IOCG (iron oxide copper and gold).....	4
2.2 Depósito tipo IOA (iron oxide-apatite)	7
2.3 Depósitos IOCG e IOA en el Norte de Chile	9
2.4 Marco geológico local distrito Punta del Cobre.....	10
2.4.1 Unidades estratificadas	11
2.4.1.1 Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962; Jurásico superior-Valanginiense inferior)	11
2.4.1.2 Formación Abundancia (Hoffstetter et al., 1957; Valanginiense superior)	12
2.4.1.3 Formación Nantoco (Hoffstetter et al., 1957; Hauteriviense)	12
2.4.1.4 Formación Totalillo (Biese-Nickel en Hoffstetter et al., 1957; Barremiense).....	13
2.4.1.5 Formación Pabellón (Biese-Nickel en Hoffstetter et al., 1957; Barremiense superior - Aptiense)	13
2.4.2 Unidades litológicas de la Formación Punta del Cobre.....	14
2.4.3 Alteración hidrotermal.....	15
2.4.4 Mineralización	15
2.4.5 Geología estructural.....	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO	18
3.1 Recopilación bibliográfica	18
3.2 Recolección de muestras	18
3.3 Análisis mediante microscopía óptica.....	21
3.3.1 Análisis de unidades de alteración	21
3.3.2 Análisis calcográfico	22

CAPÍTULO IV: RESULTADOS PETRO-CALCOGRÁFICOS	24
4.1 Mineralogía fases sulfuradas de hierro y hierro-cobre	25
4.1.1 Pirita	25
4.1.1.1 Pirita I	25
4.1.1.2 Pirita II	27
4.1.2 Calcopirita	28
4.1.3 Pirrotina	30
4.2 Mineralogía de alteración	31
4.2.1 Feldespato potásico	32
4.2.2 Clorita	33
4.2.3 Alteración clorita-epidota	34
4.2.4 Alteración silíceo	35
4.2.5 Hematita y hematita especular	36
4.2.6 Magnetita	36
4.2.7 Anfíboles secundarios	37
4.2.8 Piroxeno	37
4.2.9 Biotita cloritizada	38
4.2.10 Actinolita	38
4.2.11 Anhidrita	39
4.2.12 Calcita	39
4.2.13 Mushketovita	40
4.2.14 Jarosita y goetita	40
4.3 Cronología de eventos hidrotermales	42
4.3.1 Mina Punta del Cobre	42
4.3.2 Mina Mantos de Cobre	44
4.3.3 Mina Granate	46
4.3.4 Cronología general a nivel distrital	48
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	49
5.1 Secuencia paragenética	49
5.2 Depositación de sulfuros de Fe y Fe-Cu en el distrito Punta del Cobre	55
5.3 Distribución espacial de las alteraciones a escala distrital y de depósito	55
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos a la zona de estudio, en donde se señalan las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre.	3
Figura 2.1: Esquema de los estilos de mineralización. a) Diagrama del control estructural y litológico de la mineralización y alteración de depósitos IOCG en la cordillera de la costa de los andes centrales. b) Sección idealizada de la zonación de una veta para un depósito IOCG (modificado de Sillitoe, 2003).	5
Figura 2.2: Representación esquemática de los dos modelos propuestos para el origen de los depósitos IOCG, también se muestran los diferentes estilos de mineralización y el posible vínculo con depósitos IOA más profundos. a) Modelo magmático-hidrotermal, en el cual los fluidos y metales son de origen magmático con aporte menor del basamento y/o rocas volcánicas. b) Modelo donde los fluidos derivan de cuencas sedimentarias y son calentados por una fuente ígnea y la roca huésped puede ser tanto sedimentaria como volcánica (modificado de Barra et al., 2017).	6
Figura 2.3: Modelo de facies de alteración de óxidos de hierro-álcali y asociaciones de metales observados que enmarcan el desarrollo de la gama de tipos de depósitos dentro de los sistemas de alteración de óxido de hierro-álcali (modificado de Corriveau et al., 2016).	8
Figura 2.4: Sección esquemática ilustrando la disposición de los cuerpos mineralizados y de las alteraciones asociadas para los depósitos de tipo IOCG encajados en rocas volcánicas y plutónicas proterozoicas (modificado de Hitzman et al., 1992).....	10
Figura 2.5: Columna estratigráfica del margen oeste de la cuenca de tras arco cerca de Copiapó (modificado de Marschik y Fontboté, 2001b).	14
Figura 3.1: Fotografía de actividades (elaboración propia). a) Estudio petrográfico a nivel macroscópico de los 9 sondajes. b) Selección de 42 muestras representativas bajo criterio geológico, químico y ubicación espacial de los sondajes. c) Etiquetado y almacenado de muestras por cada sondaje para ser enviadas al laboratorio. d) Detalle de secciones pulidas y transparentes.	19
Figura 3.2: Resumen esquemático de la metodología fundamental (elaboración propia). a) Sondaje DDH15-IR-51 muestra M6 revisada macroscópicamente, el rectángulo rojo representa el área en donde se realizó la sección delgada. b) Fotografía del rectángulo de la sección delgada mediante lupa binocular en aumento 1x. c) Fotografía de sección transparente y sus dimensiones. d) Fotografía de sección pulida y sus dimensiones. e) Microfotografía de sección transparente con aumento 4x en luz polarizada plana revisada en microscopio Leitz Laborlux S. f) Microfotografía de sección pulida con aumento 5x en luz polarizada plana revisada en microscopio Motic BA310pol.	21
Figura 3.3: Marca y modelo de los equipos utilizados en la etapa de análisis de muestras (elaboración propia). a) Lupa binocular modelo Motic SMZ-171. b) Microscopio de luz	

transmitida modelo Leitz Laborlux S. c) Microscopio de luz transmitida/reflejada marca Motic BA310pol.22

Figura 4.1: Fotomicrografías de secciones pulidas en donde se representan las texturas reconocidas en las muestras estudiadas. a) Textura de bordes mutuos entre pirita y calcopirita. b) Textura de reemplazo de pirita por calcopirita. c) Inclusiones de calcopirita en pirita. d) Relleno de fracturas por calcopirita en cristales de pirita.....24

Figura 4.2: Fotografías de la mineralización presente en las tres minas estudiadas y sus respectivas fotomicrografías de las secciones pulidas. (a) Fotografía de mina Punta del Cobre donde se observa mineralización masiva de pirita-calcopirita junto a calcita cortando a matriz de magnetita. (a.1) Fotomicrografía de mina Punta del Cobre en aumento 10x en luz reflejada y en LPP donde se observan cristales subhedrales de pirita I cortados por calcopirita en anillo e incluida. (b) Fotografía de mina Granate donde se observa veta de pirita-calcopirita-magnetita y clorita cortando a zona de feldespato potásico. (b.1) Fotomicrografía en aumento 10x en luz reflejada y en LPP donde se presenta calcopirita depositadas en fracturas de pirita I. (c) Fotografía de mina Mantos de Cobre donde se observa veta de calcita y calcopirita cortando a una brecha hidrotermal de magnetita-pirita-calcopirita, además se registra clastos de feldespato potásico y clorita en la matriz. (c.1) Fotomicrografía en aumento 5x en luz reflejada y en LPP donde se observa calcopirita relleno intersticios entre los cristales de pirita.26

Figura 4.3: Fotografías de zonas mineralizadas y sus respectivas fotomicrografías de secciones pulidas de mina Mantos de Cobre (a-a.1) y mina Punta del Cobre (b-b.1). (a) Fotografía de veta de calcopirita-pirita-clorita y feldespato potásico cortando zona de magnetita masiva. (a.1) Fotomicrografía en aumento 5x en luz reflejada y en LPP donde se observan cristales subhedrales de pirita II cortando a calcopirita y cristales anhedral de pirita I corroídos cóncavamente en sus bordes por calcopirita. (b) Fotografía de veta de calcopirita-pirita y cuarzo cortando a magnetita masiva. (b.1) Fotomicrografía en aumento 5x en luz reflejada y en LPP de cristales euhedrales de 2.5mm de pirita II cortando a cristales diseminados de calcopirita y pirita I.27

Figura 4.4: Fotografías de zonas mineralizadas de las tres minas junto a sus respectivas fotomicrografías de las secciones pulidas en luz reflejada y en LPP. (a) Fotografía de mina Punta del Cobre donde se observa un stockwork de calcopirita-pirita-calcita y mushketovita. (a.1) Fotomicrografía de mina Punta del Cobre en aumento 5x donde se observan cristales de calcopirita y pirita cortados por mushketovita. (b) Fotografía de mina Mantos de Cobre en donde se observa vetas de pirita-calcopirita-calcita y clorita cortando a matriz de magnetita. (b.1) Fotomicrografía de mina Mantos de Cobre en aumento 10x en donde se observa cristal de pirita I subhedral cortada por calcopirita en sus fracturas. (c) Fotografía de mina Granate donde se observa zona de feldespato potásico-clorita-epidota cortada por una veta de calcopirita y anfíboles secundarios. (c.1) Fotomicrografía de mina Granate en aumento 5x donde se observan cristales subhedrales de pirita que son reemplazados por calcopirita.....29

Figura 4.5: Fotografía y fotomicrografías de zonas mineralizadas de mina Granate. (a) Fotografía donde se observa zona masiva de alteración clorita-epidota cortada por veta

mineralizada de 3 cm de espesor de pirita-calcopirita y pirrotina. (b) Fotomicrografía de secciones pulidas en luz reflejada, en aumento 5x y en LPP donde se observa pirrotina anhedral diseminada reemplazando a calcopirita anhedral, a su vez la calcopirita se deposita en intersticios de cristales subhedrales de pirita I. (c) Fotomicrografía de secciones pulidas en luz reflejada, en aumento 5x y en LPP donde se observa el reemplazo de pirita y magnetita en pirrotina.30

Figura 4.6: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de las tres minas estudiadas. (a) Fotomicrografía en LPP de mina Punta del Cobre donde se observa restos de roca de caja (plagioclasa) cortado por alteración de feldespato potásico y cuarzo diseminado que forman una masa afanítica de alteración que es cortada posteriormente por un evento de calcita. (b) Fotomicrografía en LPP de mina Mantos de Cobre donde se observa una veta de feldespato potásico y epidota que cortan a alteración de clorita y sílice. (c) Fotomicrografía en NC de mina Granate donde se observa zona de alteración de feldespato potásico cortada por veta de anfíboles secundarios y calcopirita (d) Fotomicrografía en NC de mina Granate donde se observa alteración masiva de feldespato potásico cortado por una veta de epidota acompañada de minerales opacos.32

Figura 4.7: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Punta del Cobre. (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de plagioclasa inmersos en alteración de clorita y sílice afanítico. (b) Fotomicrografía en NC donde se observa dos tipos de clorita en color rojizo clorita magnésica y en azul clorita férrica que rodean un cristal de pirita. (c) Fotomicrografía en LPP de clorita masiva y cristales de cuarzo posteriores cortando esta alteración, a su vez es cortada por una vetilla de calcita. (d) Fotomicrografía en LPP donde se observa clorita alterando bordes de cristales de pirita.33

Figura 4.8: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Mantos de Cobre. (a) Fotomicrografía en LPP donde se observa alteración de clorita temprana con alteración de epidota cortándola. (b) Fotomicrografía en NC donde se observa cuarzo diseminado cortado por una veta de epidota del tipo pistacita acompañado de clorita férrica.34

Figura 4.9: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Punta del Cobre (fotomicrografía a, b y c) y de mina Granate (fotomicrografía d). (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de cuarzo de tamaño 0.1 a 0.5mm en veta junto a alteración de clorita férrica cortada por vetilla de calcita. (b) Fotomicrografía en NC donde se observa veta de cuarzo de 1mm de espesor y en sus bordes alteración de clorita férrica y minerales de mena. (c) Fotomicrografía en NC donde se observa vetilla de cuarzo secundario de 0.2 mm de espesor cortada por veta 1 mm de espesor de calcita, cuarzo y pirita. (d) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de cuarzo junto a una matriz de clorita afaníticos y sobre esta un cúmulo de cristales de cuarzo crecidos.35

Figura 4.10: Fotomicrografías en LPP de secciones pulidas en luz reflejada y en aumento 10x de zonas mineralizadas de mina Punta del Cobre. (a) Fotomicrografía donde se

observa veta de hematita y pirita. (b) Fotomicrografía veta de calcita cristal de calcopirita y hematita especular.....36

Figura 4.11: Fotomicrografías en LPP de secciones pulidas en luz reflejada con aumento 10x de zonas mineralizadas de mina Mantos de Cobre (fotomicrografía a) y de mina Punta del Cobre (fotomicrografía b). (a) Fotomicrografía de magnetita cortando a pirita y calcopirita. (b) Fotomicrografía de veta de pirita y calcopirita cortada por magnetita. ...36

Figura 4.12: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas. (a) Fotomicrografía en LPP de mina Mantos de Cobre, se observa una veta de epidota-pirita y cristales de anfíboles diseminados de 0.1mm cortando a cuarzo secundario. (b) Fotomicrografía en NC de mina Granate donde se observa alteración de feldespato potásico cortada por veta de anfíboles secundarios.37

Figura 4.13: Fotomicrografías en NC de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate. (a) Fotomicrografía de cristales mayores de 1mm de piroxenos secundarios mayores a 1mm junto a pirita. (b) Fotomicrografía donde se observa veta de minerales opacos y en sus bordes piroxenos secundarios cortando a alteración de feldespato potásico.....37

Figura 4.14: Fotomicrografía de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Mantos de Cobre. (a) Fotomicrografía en NC donde se observa veta de biotita-pistacita-cuarzo. (b) Fotomicrografía en LPP donde se observa cristales de biotita mayores a 2.5 mm en veta de pistacita-cuarzo secundario cortando a feldespato potásico.38

Figura 4.15: Fotomicrografía de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate. (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de calcita sobreimpuestos por alteración de epidota y actinolita. (b) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de actinolita acompañada de epidota y clorita sobre cristales de calcita.....38

Figura 4.16: Fotomicrografía de secciones transparentes en luz transmitida en NC y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate. (a) Fotomicrografía en donde se observan cristales de una veta de anhidrita. (b) Fotomicrografía en donde se observa veta de anhidrita y alteración de epidota, clorita y cuarzo en sus bordes.....39

Figura 4.17: Fotomicrografías en NC de secciones transparente en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Punta del Cobre. (a) Fotomicrografía de veta de calcita de 0.25mm de espesor cortada por vetillas de cuarzo. (b) Se observa veta de calcita y en los bordes cuarzo que cortan vetillas estériles de calcita anteriores.....39

Figura 4.18: Fotomicrografías en LPP de secciones pulidas en luz reflejada con aumento 5x de zonas mineralizadas de mina Punta del Cobre. (a) Se observan cristales de mushketovita cortando a calcopirita. (b) Cristales de mushketovita de gran dimensión (0.5mm espesor) interceptando a calcopirita.40

Figura 4.19: Fotomicrografías de secciones reflejadas con aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate (fotomicrografía a) y mina Punta del Cobre (fotomicrografía b). (a)

Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de cuarzo interceptado por goetita. (b) Fotomicrografía en LPP donde se observa vetilla de clorita y calcita y posterior jarosita.40

Figura 4.20: Fotografías tomadas en lupa binocular, que muestran la cronología relativa de los distintos eventos de alteración y mineralización en mina Punta del Cobre. (a) Roca obliterada por alteración de K-sil y cortada por veta de clorita-magnetita-pirita-calcopirita. (b) Se observa calcopirita asociada a veta de hematita especular-magnetita-calcita que cortan a alteración de clorita cortada a su vez por cristales de pirita en vetillas. (c) Se observa zona de alteración de K-sil y clorita cortado por veta de hematita-calcopirita-pirita que a su vez es cortada por vetillas de calcita y cuarzo secundario. (d) Se observa veta de calcopirita-calcita con halo de clorita la cual está siendo cortada y desplazada por una vetilla de magnetita y calcopirita. (e) Stockwork de mushketovita-calcita-pirita y calcopirita cortando a clorita masiva. (f) Roca alterada por clorita y brechizada por magnetita-calcopirita y pirita que están siendo cortadas por una veta de calcita y jarosita.43

Figura 4.21: Fotografías tomadas en lupa binocular que respaldan la cronología relativa de los distintos eventos de alteración y mineralización en mina Mantos de Cobre. (a) Se observa alteración potásica pervasiva cortada por vetas de clorita-calcopirita-pirita y parches de epidota-pirita. (b) Se observa mineralización en vetas de cristales de pirita y en menor medida calcopirita diseminada dentro de una veta de clorita cortada por una vetilla de feldespatos potásico. (c) Se observa K-sil-clorita-pirita y calcopirita brechizando a magnetita masiva. (d) Brecha hidrotermal de magnetita-calcopirita y clorita cortada por veta de calcita y pirita. (e) Se observa veta de epidota-calcopirita-calcita y trazas de pirita que corta a brecha de magnetita-clorita. (f) Se observa veta de calcopirita-calcita cortando a brecha de magnetita-calcopirita-pirita y clorita.....45

Figura 4.22: Fotografías tomadas en lupa binocular que evidencian la cronología relativa de los distintos eventos de alteración y mineralización en mina Granate. (a) Ensamblaje de alteración pervasiva de feldespatos potásico-epidota-clorita el cual es cortado por una veta de anfíboles secundarios y mineralización de calcopirita. (b) Roca alterada a feldespatos potásico cortada por veta de clorita-epidota-actinolita y mineralizada de pirita-calcopirita. (c) Se observa bandeamiento de bandas claras de K-sil y bandas oscuras de piroxenos cortadas por una posterior veta de feldespatos potásico y calcopirita-pirita. (d) Se observa muestra alterada a K-sil y cortada por veta de pirita-calcopirita con halo de piroxeno. (e) Se observa veta de pirita-calcopirita-pirrotina-clorita y actinolita cortando a epidota. (f) Se observa roca alterada por clorita-epidota-magnetita cortada por veta de anhidrita, posteriormente la alteración y la veta son cortadas por vetillas de pirita.47

Figura 4.23: Esquema de la cronología relativa a nivel distrital de los eventos de mineralización y alteración inferidos a partir de las relaciones de corte observadas.....48

Figura 5.1: Secuencia paragenética de minerales de mena, ganga y alteración en Candelaria y en el distrito Punta del Cobre. Abreviatura: P= Alteración pervasiva; TEN= Tentativo; V= Vetillas; ?= Incierto (Modificado de Marschik & Fontboté, 2001).....54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Código de sondajes, sector y profundidad de las muestras utilizadas en el estudio petrográfico, calcográfico y de microscopía óptica (elaboración propia).	20
Tabla 3.2: Ficha tipo para el registro de los resultados obtenidos de la observación macroscópica y microscópica de las muestras en etapa de gabinete (elaboración propia).	23
Tabla 3.3: Especificaciones técnicas de lupa binocular y de microscopios utilizados, con su respectivo aumento de objetivo, aumento y amplitud del ocular, aumento total microscopio y diámetro del campo visual en micras y milímetros.	23
Tabla 4.1: Principales asociaciones mineralógicas y tipos de alteración presentes en el distrito Punta del Cobre.....	41
Tabla 5.1: Secuencia paragenética de eventos mineralizadores y principales alteraciones en mina Punta del Cobre, a partir de observaciones petrográficas y calcográficas (elaboración propia). El grosor de la línea representa aproximadamente la abundancia relativa del mineral en particular, pero no tiene implicancias cuantitativas sobre otras especies minerales. La simbología de colores se correlaciona a la numeración señalada en la Figura 4.23. Abreviatura: D= Diseminado; P= Pervasiva; V= Veta; S= Stockwork...50	50
Tabla 5.2: Secuencia paragenética de eventos mineralizadores y principales alteraciones en mina Mantos de Cobre, a partir de observaciones petrográficas y calcográficas (elaboración propia). El grosor de la línea representa aproximadamente la abundancia relativa del mineral en particular, pero no tiene implicancias cuantitativas sobre otras especies minerales. La simbología de colores se correlaciona a la numeración señalada en la Figura 4.23. Abreviatura: D= Diseminado; P= Pervasiva; V= Veta; S= Stockwork...51	51
Tabla 5.3: Secuencia paragenética de eventos mineralizadores y principales alteraciones en mina Granate, a partir de observaciones petrográficas y calcográficas (elaboración propia). El grosor de la línea representa aproximadamente la abundancia relativa del mineral en particular, pero no tiene implicancias cuantitativas sobre otras especies minerales. La simbología de colores se correlaciona a la numeración señalada en la Figura 4.23. Abreviatura: B= Bandas; D= Diseminado; P= Pervasiva; S= Stockwork; V= Veta; ?= Incierta.	52
Tabla 5.5: Resumen de la temporalidad hidrotermal relativa observada de manera general en las muestras del distrito Punta del Cobre.	56

TABLA DE ABREVIACIONES MINERALES

Mineral	Abreviación
Actinolita	Act
Anfíbol	Amp
Anhidrita	Anh
Biotita	Bt
Calcita	Cal
Calcopirita	Cpy
Clorita	Chl
Cuarzo	Qz
Epidota	Ep
Feldespato potásico	Kfs
Feldespato potásico y sílice	Ksil
Hematita	Hm
Hematita especular	Hm spc
Hornblenda	Hbl
Magnetita	Mag
Mushketovita	Mush
Pirita	Py
Pirrotina	Po
Piroxeno	Px
Plagioclasa	Plg

TABLA DE ABREVIACIONES DE ELEMENTOS

Elemento	Abreviación
Arsénico	As
Azufre	S
Calcio	Ca
Cerio	Ce
Cobalto	Co
Cobre	Cu
Hafnio	Hf
Hierro	Fe
Magnesio	Mg
Molibdeno	Mo
Níquel	Ni
Oro	Au
Plomo	Pb
Potasio	K
Sodio	Na
Tierras raras	REE
Uranio	U
Zinc	Zn

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación y contexto del problema de investigación

El presente trabajo de titulación se financió mediante el Fondo para la Innovación y Competividad FIC-FNDR-2018 del Gobierno Regional de Atacama, titulado “Núcleo de investigación del cobalto y tierras raras”, dirigido por el Dr. Karl Riveros Jensen.

Considerando la necesidad creciente del país de contar con nuevos depósitos de elementos estratégicos, es necesario explorar y evaluar subproductos no convencionales en yacimientos que han sido clásicamente explotados por Fe, Cu y Au. Conforme a la problemática anterior, este proyecto busca determinar la presencia de Cobalto, Tierras Raras y otros elementos estratégicos en diferentes distritos mineros de la región de Atacama.

En este contexto, es sabido que las fases sulfuradas del distrito Punta del Cobre, hospedan elementos estratégicos tales como Cobalto, Níquel, Cerio, Hafnio entre otros (ej. Solís, 2022), por lo que se hace necesario una detallada caracterización petro-calcográfica de los diferentes eventos sulfurados, con la finalidad de establecer los controles mineralógicos de dichos elementos.

El distrito Punta del Cobre está ubicado en la comuna de Tierra amarilla y se conforma por las minas Punta del Cobre, Mantos de Cobre y Granate, pertenecientes a Pucobre, los cuales se definen como depósitos tipo IOCG. La mineralogía característica de estos depósitos corresponde a fases hipógenas tales como calcopirita, pirita, magnetita, hematita y oro (Marschick et al., 1997; Sillitoe, 2003). Estos depósitos se encuentran hospedados en una alternancia de lavas andesíticas, rocas volcanoclásticas y sedimentarias (Segerstrom y Ruiz, 1962), correspondientes a la Formación Punta del Cobre (Marschik y Fontboté, 2001b), y al grupo Chañarcillo (Segerstrom y Parker 1959).

1.2 Hipótesis de trabajo

En esta tesis se hipotetiza que el estudio petro-calcográfico en los depósitos IOCG del distrito Punta del Cobre revelarán la ocurrencia de una asociación mineralógica compuesta por magnetita, pirita y calcopirita, donde será posible establecer varios eventos de mineralización sulfurada, los cuales estarán asociados a ensamblajes de alteración específicos. El estudio microtextural de los eventos hidrotermales de las distintas minas de Pucobre permitirá establecer un modelo paragenético del depósito, enfocado principalmente en la temporalidad relativa de las fases sulfuradas de hierro y hierro-cobre.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Reconstruir temporalmente los diferentes eventos hidrotermales asociados a la mineralización de sulfuros de hierro y hierro-cobre en el distrito Punta del Cobre.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las diferentes fases sulfuradas del distrito Punta del Cobre y asociarlas a un respectivo evento de alteración.
- Caracterizar microtexturalmente las fases sulfuradas, para establecer una cronología relativa de los eventos depositación.
- Contrastar mineralógica y texturalmente los eventos hidrotermales de mineralización y alteración en los tres diferentes depósitos que conforman el distrito Punta del Cobre.

1.4 Área de estudio, ubicación y accesos

El área de estudio corresponde a las tres minas pertenecientes a la compañía minera Pucobre S.A, denominadas Punta del Cobre, Mantos de Cobre y Granate indicadas en la Figura 1.1.

Para acceder a la zona de estudio desde la Universidad de Atacama se debe tomar la Av. Copayapu recorriendo 16.4 km en dirección a la comuna de Tierra Amarilla, luego se continua 3.7 km por la ruta C-35 hasta las dependencias de Pucobre S.A.

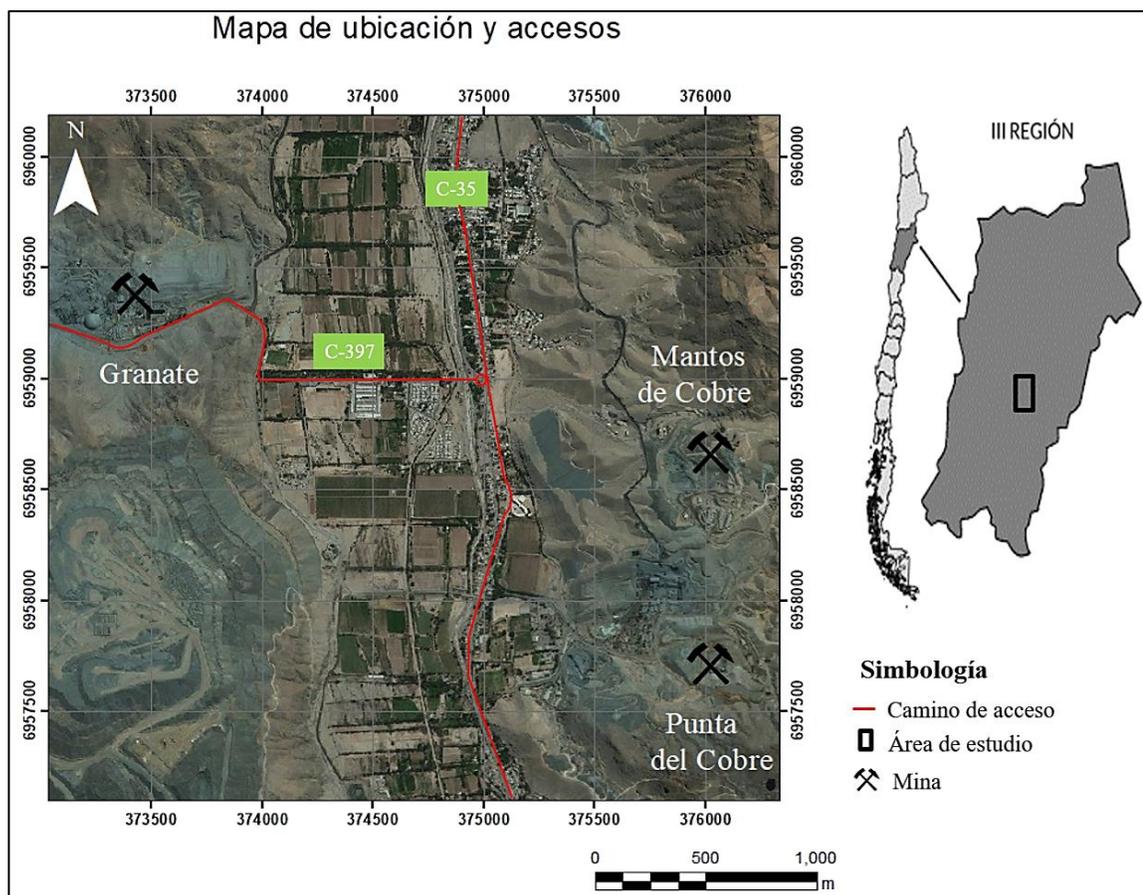


Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos a la zona de estudio, en donde se señalan las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre.

CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO

2.1 Depósito tipo IOCG (iron oxide copper and gold)

Los depósitos tipo iron oxide copper-gold (IOCG) son globalmente relevantes, y se encuentran ampliamente distribuidos a través del espacio y tiempo geológico. Las provincias IOCG presentan edades que van desde el Arcaico hasta el Fanerozoico, y presentan ocurrencias en todos los continentes excepto en la Antártica (Barton 2014). Estos depósitos han sido objetivo de exploración desde el descubrimiento del depósito de Olympic Dam en el sur de Australia en 1975 (Williams et al., 2005) y han surgido como uno de los principales blancos de exploración en los Andes Centrales en las últimas dos décadas (Chen et al., 2012). La mineralogía de estos depósitos se caracteriza por los elevados contenidos de óxidos de hierro (magnetita y/o hematita, >10%), además de sus cantidades variables de Cu, REE, P, U, Ag, Co entre otros elementos (Foose y McLelland, 1995; Chiaradia et al., 2006; Barton 2014).

En Chile, este tipo de yacimiento se distribuye, principalmente, en la Cordillera de la Costa, entre los 22° y 30° S, como una franja continua que se superpone con la bien definida Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa (Vivallo, 2009). Esta franja está constituida, principalmente, por rocas plutónicas (gabro-granito) y volcánicas (andesitas) cuyas edades se extienden desde el Jurásico al Cretácico inferior. Este conjunto de rocas ígneas ha sido interpretado como un arco magmático desarrollado sobre un basamento de rocas pre-jurásicas, en respuesta a la implantación del sistema de subducción al comienzo del Jurásico (Figura 2.1). El principal rasgo estructural de este segmento de la Cordillera de la Costa lo constituye el Sistema de Fallas de Atacama (SFA), que se extiende por más de 1.000 km a lo largo de toda la franja que concentra los yacimientos de óxidos de hierro-cobre-oro y afecta tanto a las rocas jurásicas como a las cretácicas (Vivallo, 2009).

Los yacimientos de óxidos de hierro-cobre-oro de la Cordillera de la Costa (Vivallo et al., 2008) se presentan como vetas, cuerpos de brechas, cuerpos de mena con forma irregular y depósitos estratoligados. Los yacimientos estratoligados son los de mayor importancia económica, a este grupo pertenecen los del distrito Punta del Cobre, incluyendo Candelaria. Corresponden a depósitos hospedados en rocas volcánicas andesíticas, en los cuales la mineralización dio origen a cuerpos concordantes y discordantes con la

estratificación. La mayor parte de este tipo de depósitos no muestra una relación directa con rocas intrusivas. De acuerdo al registro de edades se puede reconocer dos grupos principales de yacimientos, uno de edad Jurásico medio a Jurásico superior (160-140 Ma) y otro del Cretácico inferior (135-110 Ma). Desde el punto de vista económico los yacimientos del Cretácico inferior son los más importantes (Boric et al., 1990).

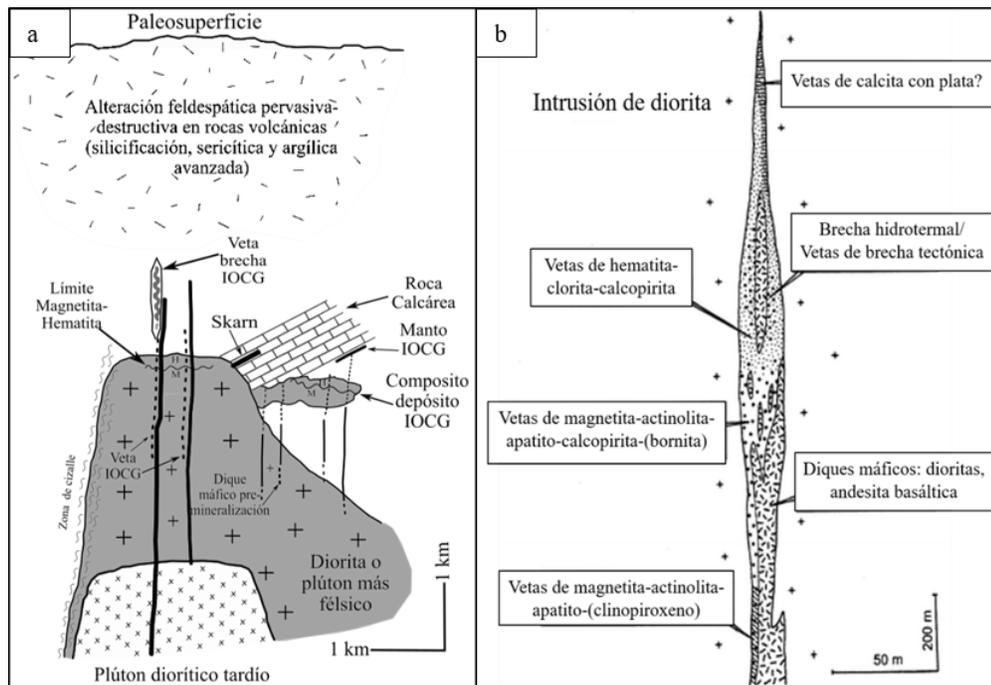


Figura 2.1: Esquema de los estilos de mineralización. a) Diagrama del control estructural y litológico de la mineralización y alteración de depósitos IOCG en la cordillera de la costa de los andes centrales. b) Sección idealizada de la zonación de una veta para un depósito IOCG (modificado de Sillitoe, 2003).

Los depósitos IOCG corresponden a un estilo de mineralización aún poco conocido y su origen genera controversia (Hitzman, 1992; Williams et al., 2005). Sus minerales de mena corresponden a una asociación de Cu, dada en sulfuros de cobre y Au, además de un abundante contenido de óxidos de Fe tales como magnetita (a niveles más profundos) y hematita (en superficie), su ocurrencia es variable y se presentan tanto en forma de vetas, cuerpos de brechas, cuerpos irregulares y como depósitos estratoligados (Tornos et al., 2008). La mineralización, se aloja en rocas volcano-sedimentarias producidas en entornos corticales producto de metasomatismo alcalino prolongado asociado a granitoides del batolito Cretácico, enriqueciéndose geoquímicamente en diversos elementos menores tales como F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag, Ba, LREE y U. (Williams et al., 2005). Actualmente

existen dos hipótesis generales para la génesis de estas mineralizaciones (Figura 2.2): la hipótesis magmática, defendida por Frietsch (1978), Mark & Foster (2000), Pollard (2000), Sillitoe (2003) y Tornos et al., 2005, sostiene que los fluidos mineralizadores son producto de la exsolución magmática y que dan lugar a una zonación similar a la de los pórfidos cupríferos. La segunda hipótesis plantea que los fluidos son derivados de cuencas ricas en evaporitas, y los cuerpos intrusivos sólo actúan como fuentes de calor (Barton, 2013).

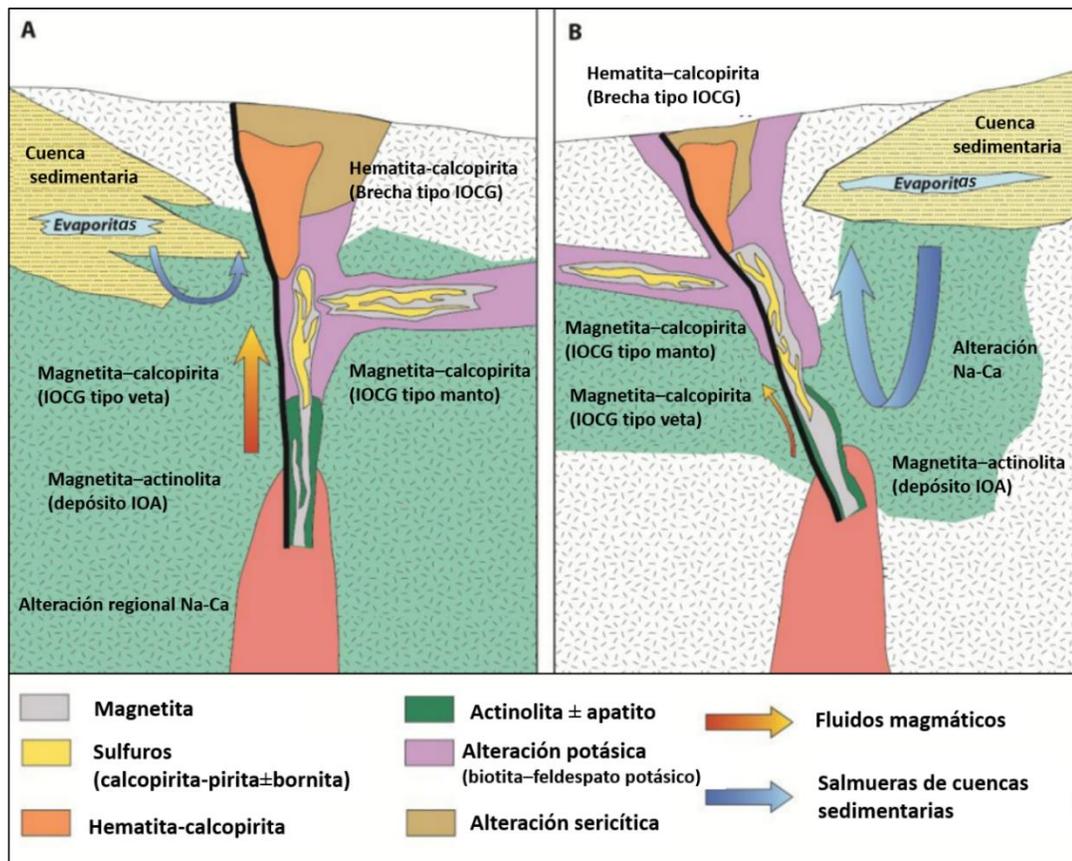


Figura 2.2: Representación esquemática de los dos modelos propuestos para el origen de los depósitos IOCG, también se muestran los diferentes estilos de mineralización y el posible vínculo con depósitos IOA más profundos. a) Modelo magmático-hidrotermal, en el cual los fluidos y metales son de origen magmático con aporte menor del basamento y/o rocas volcánicas. b) Modelo donde los fluidos derivan de cuencas sedimentarias y son calentados por una fuente ígnea y la roca huésped puede ser tanto sedimentaria como volcánica (modificado de Barra et al., 2017).

2.2 Depósito tipo IOA (iron oxide-apatite)

Los Yacimientos de magnetita-apatito, también llamados Tipo Kiruna, descritos por primera vez por Geijer en 1910, en el complejo volcánico Kiruna Arvidsjaura en Suecia, se emplazaron en rocas volcánicas o en niveles altos de intrusión, durante el Proterozoico hasta inicios del Cenozoico (Nystrom y Henriquez, 1994).

En el Norte de Chile se ubican en la Cordillera de la Costa y se componen de magnetita masiva y contenidos variables de apatito y actinolita. Estos depósitos ricos en hierro y deficientes en cobre y azufre han sido interpretados como un miembro extremo de los depósitos IOCG (Palma et al., 2015). Las rocas ígneas que contienen depósitos de magnetita-apatito típicamente contienen actinolita, con o sin piroxeno, granate y escapolita y están acompañadas por alteración calosilicatada (Hitzman et al., 1992).

Por lo general, estos yacimientos son de gran volumen (>500 Mton), se caracterizan por valores altos de tierras raras en apatita y en algunos casos presentan textura de enfriamiento rápido similar a rocas volcánicas (Hildebrand, 1986).

Existen distintos modelos respecto al origen de los yacimientos de tipo IOA. Ruiz et al., 1965, proponen un modelo de reemplazo hidrotermal basados en la fuerte alteración hidrotermal observada en estos yacimientos, mientras que Pollard en 2001, presenta un modelo de metasomatismo a partir de una desmezcla de fluidos magmáticos. Espinoza (1990), Nyström & Henriquez (1994) y Naslund et al. (2002) postulan un origen puramente magmático a partir de un fundido rico en Fe (Figura 2.3).

Vivallo (2009) planteó que los yacimientos de hierro tipo magnetita-apatita, los de óxidos de hierro-cobre-oro, estratoligados de cobre y mesotermales de oro y cobre-oro forman parte de un mismo sistema mineralizador relacionado con el magmatismo del arco magmático del Jurásico al Cretácico inferior, en el cual los yacimientos de magnetita-apatita constituyen la parte central o más profunda del sistema y que a niveles más someros ocurriría el emplazamiento de los depósitos IOCG.

En las regiones de Atacama y Coquimbo el arco volcánico de esta edad se extiende desde el norte de Caldera al sur de Coquimbo, caracterizado por yacimientos de óxidos de hierro-apatito (IOA) y yacimientos del tipo óxidos de hierro-cobre y oro (IOCG), los que se emplazan relacionados con el SFA (Townley et al., 2017).

Los yacimientos de hierro del tipo IOA representan la mayor fuente para la minería del hierro nacional. La mena principal de estos yacimientos corresponde a magnetita, con menor proporción de hematita y solamente trazas de fases minerales sulfuradas, tales como pirita, arsenopirita, calcopirita, entre otros. Estos yacimientos pueden presentar cobalto como un sub producto residual de la recuperación del hierro. Asociado con esta misma franja de yacimientos de hierro, dada la afinidad geoquímica entre ambos elementos. Asociado con esta misma franja de yacimientos de hierro, tanto en el SFA como en el margen este del arco, se presentan yacimientos del tipo IOCG. Estos yacimientos se explotan por su mena de cobre (calcopirita), con oro como subproducto principal. (Townley et al., 2018).

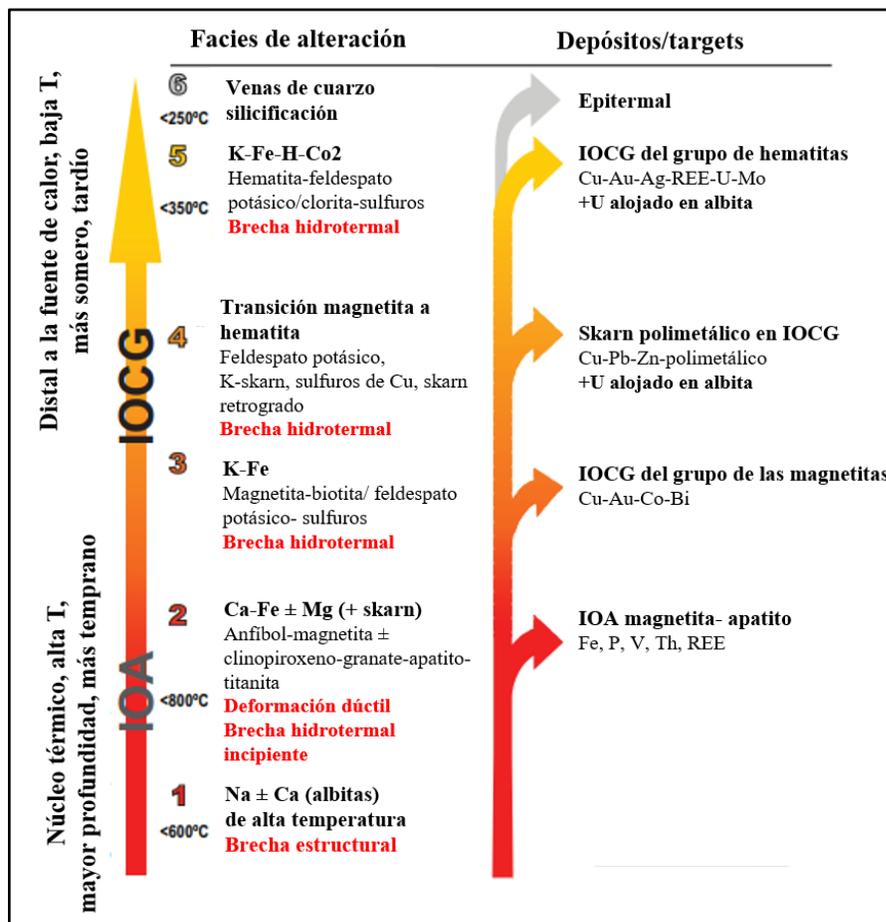


Figura 2.3: Modelo de facies de alteración de óxidos de hierro-álcali y asociaciones de metales observados que enmarcan el desarrollo de la gama de tipos de depósitos dentro de los sistemas de alteración de óxido de hierro-álcali (modificado de Corriveau et al., 2016).

2.3 Depósitos IOCG e IOA en el Norte de Chile

En la zona norte de Chile los sistemas IOCG-IOA se asocian a franjas metalogénicas de edad Jurásica media a Cretácica inferior (Vivallo, 2009). En particular la franja ferrífera Cretácica, hospeda principalmente depósitos tipo IOCG (Sillitoe, 2003), yacimientos que están asociados espacialmente al SFA (Treloar y Colley, 1993).

Los depósitos tipo IOA se formarían a partir de una concentración de magnetita de origen magmático por flotación causada por fluidos hidrotermales exsultos del magma parental. (Knipping et al. 2015).

Adicionalmente, el fluido magmático-hidrotermal se puede enriquecer en Cl, y puede extraer cantidades adicionales de Fe del magma además de otros metales como el Cu y el Au. Este fluido puede ascender por sobre el nivel de formación del IOA para finalmente precipitar hierro y sulfuros a profundidades más someras dando origen a un IOCG. El azufre sería de origen magmático aportado por los intrusivos dioríticos comúnmente asociados a los depósitos IOCG y los fluidos hidrotermales serían mayormente de origen magmático, de alta temperatura ($T \sim 450^{\circ}\text{C}$) y alta salinidad (Reich et al. 2015).

En general, las alteraciones hidrotermales asociadas a los depósitos IOCG (Figura 2.4) descritas en orden de eventos son: en primera instancia ocurre una fuerte interacción con fluidos ricos en Na y Ca a temperaturas altas ($>600^{\circ}\text{C}$), que evolucionan a fluidos ricos en Ca y Fe por una disminución del espectro de temperatura, para finalmente llegar al ambiente IOCG propiamente dicho esta representado por un hidrotermalismo principalmente feldespatos potásico. Entonces dentro de los depósitos tipo IOCG la zonación del centro hacia afuera está dada por: alteración calco-sódica (albita, actinolita) se puede localizar en el rango de 5 a 10 km de profundidad con temperaturas cerca de los 600°C , la alteración potásica (feldespatos potásico, biotita acompañada de anhidrita) es más afin, que conlleva cuerpos de magnetita, con temperaturas que oscilan entre 200°C a $<400^{\circ}\text{C}$ que se consideran de baja temperatura, conforme la temperatura va decreciendo se observa la alteración propilítica (clorita, epidota, calcita, albita y hematita) y al final se observa vetas epitermales con temperaturas menores a 100°C . los fluidos que aportan los metales son fluidos magmaticos ricos en Fe, Na, K, Cu, Au, mientras que los fluidos magmáticos que han interactuado con la corteza aportan Fe, K, Ca, Cu, Au, U, REE (Richards et al., 2013).

Las alteraciones más características en yacimientos ferríferos del tipo Kiruna o IOA corresponden a alteraciones calco-sódica e incluye una fuerte albitización de las rocas presentes en los niveles basales del sistema, así como clinopiroxeno, actinolita, clorita, escapolita y epidota. En los yacimientos ferríferos cretácicos del norte de Chile y sur del Perú la mineralización principal de magnetita está acompañada de actinolita y apatito (Oyarzún y Oyarzún, 2009).

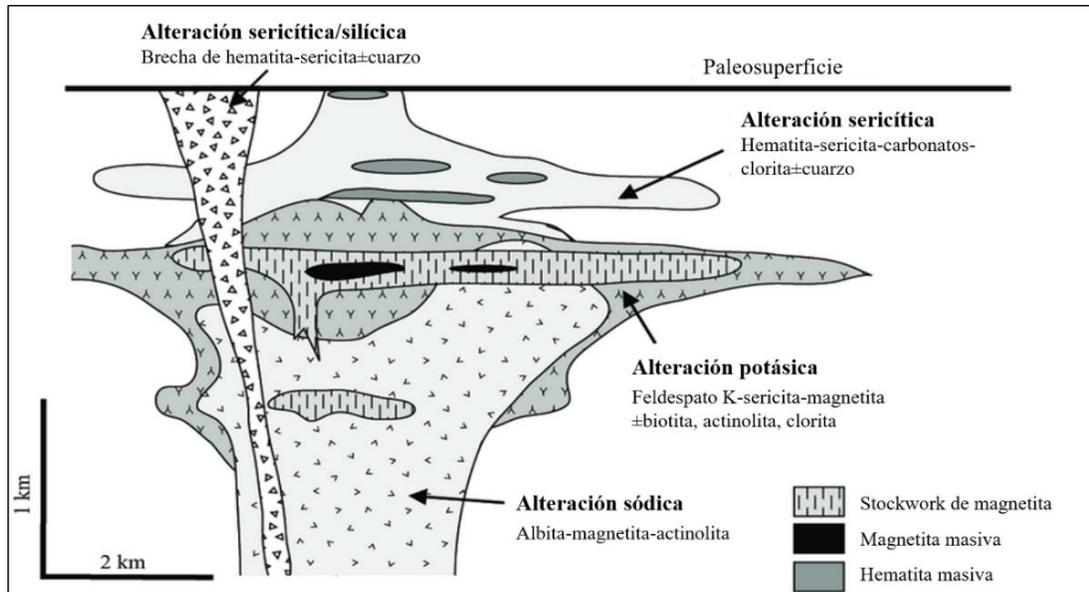


Figura 2.4: Sección esquemática ilustrando la disposición de los cuerpos mineralizados y de las alteraciones asociadas para los depósitos de tipo IOCG encajados en rocas volcánicas y plutónicas proterozoicas (modificado de Hitzman et al., 1992).

2.4 Marco geológico local distrito Punta del Cobre

El distrito Candelaria-Punta del Cobre se asocia a una extensa alteración hidrotermal y mineralización que constituye uno de los sistemas IOCG más grandes y jóvenes del mundo. La arquitectura estructural y volcánico-sedimentaria de la cuenca parece haber influido en la ubicación de numerosos depósitos y ocurrencias de IOCG (del Real, 2017). Se establece que los yacimientos del distrito son del tipo estratoligado, que corresponden a depósitos hospedados en rocas volcánicas andesíticas, en los cuales la mineralización dio lugar a cuerpos concordantes y discordantes con la estratificación (Vivallo, 2009).

La mineralización característica corresponde a una asociación de minerales hipógenos tales como calcopirita, pirita, magnetita, hematita, oro y abundante esfalerita (Marschick et al., 1997; Sillitoe, 2003), y en algunos yacimientos bornita (Vivallo, 2009).

En la zona se pueden encontrar diversos estilos de mineralización tales como vetas, cuerpos minerales estratiformes, tabulares o lentiformes y stockworks, hospedados en andesitas, facies de Albitrófiro y brechas de la Formación Punta del Cobre (Camus, 1980; Pincheira et al., 1981; Marschik y Fontboté, 1996; Makshev, 2001).

Del Real (2020) utiliza la química de las piritas por medio de la razón alta de cobalto/níquel en cristales de pirita establecen que la fuente del depósito en el distrito Punta del Cobre es magmática máfica y una razón baja de selenio/azufre indica un aporte externo de fluidos hidrotermales tardíos provenientes de una cuenca.

2.4.1 Unidades estratificadas

A continuación, se describen las principales unidades encontradas en el sector, (Figura 2.5).

2.4.1.1 Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962; Jurásico superior-Valanginiense inferior)

Esta formación corresponde a una secuencia volcánica y sedimentaria, de estratificación gruesa que sobreyace concordantemente a los estratos de la Formación La Negra y subyace del mismo modo a la Formación Abundancia y conforma la unidad más antigua del sector datado en el Jurásico superior – Valanginiense inferior (Arévalo, 2005).

Segerstrom y Ruiz (1962), definieron esta formación en la Sierra Punta del Cobre como una intercalación de lavas andesíticas con rocas volcanoclásticas y sedimentarias que alberga el depósito Candelaria (Cu-Fe-Au) y el distrito Punta del Cobre (Cu-Fe) y comprende, desde base a techo: las lavas inferiores de composición andesítica; el llamado albitrófiro, de grano fino, rocas dacíticas altamente alteradas, además de la presencia de pillow lavas, las cuales se definen como flujos submarinos.

La mineralización en el distrito de Punta del Cobre se encuentra en las lavas inferiores, el albitrófiro y dentro de las brechas (Marschik y Fontboté, 1996). Marschik y Fontboté (2001b), redefinieron a la Formación Punta del Cobre dividiéndolas en dos subunidades de base a techo: el Miembro Geraldo-Negro conformado por rocas volcánicas,

ocasionalmente intercaladas con sedimentos clásticos; y el Miembro Algarrobo, conformado por sedimentos volcanoclásticos con lentes de rocas volcánicas.

2.4.1.2 Formación Abundancia (Hoffstetter et al., 1957; Valanginiense superior)

Originalmente definida por Hoffstetter con el nombre de “Capas de Abundancia”, corresponde a una serie de lutitas finamente laminadas ubicada al este de la mina Abundancia, sin embargo, los afloramientos que exhiben las características más distintivas se exponen en Quebrada Meléndez (Arévalo, 2005).

Esta formación se caracteriza por una secuencia formada por calcilitas y grauwackas verdes con abundantes estructuras de “flames” y pseudonódulos hacia la parte baja de la formación, le siguen en capas muy continuas, calcilitas blanquecinas con laminación muy fina. A base se intercalan capas de volcarenitas verdes oscuras de grano fino a muy grueso, conglomerados con gradación normal y bases erosivas. Estas intercalaciones le otorgan el aspecto bandeado a la secuencia (Arévalo, 2005). Su potencia aumenta al NW de 60 metros a más de 400 metros. Se distribuye en una amplia franja de dirección NE-SW, indiferenciada de la Formación Nantoco, que estratigráficamente la sobreyace concordantemente (Segerstrom, 1968). La fauna fósil de sus capas permite datarla en el Valanginiense superior (Segerstrom, 1968; Corvalán, 1974). La presencia de fangolitas y grauwackas representan la acumulación de turbiditas volcanoclásticas de grano fino acompañas por precipitación de carbonatos en ambiente submareal profundo (Arévalo, 2005).

2.4.1.3 Formación Nantoco (Hoffstetter et al., 1957; Hauteriviense)

Definida por Hoffstetter como “Calizas de Nantoco” y definida como una formación por Corvalán (1974) comprende una secuencia de rocas calcáreas marinas que sobreyacen a Formación Abundancia e infrayacen concordantemente a la Formación Totoralillo. Su localidad tipo se encuentra en el valle de Copiapó a 2 km al Este de Punta del Cobre en el pueblo de Nantoco.

Segerstrom y Parker (1959), consideran la formación dividida en dos miembros: el miembro inferior compuesto por calizas gris claras a oscuras de bajo contenido fosilífero, intercaladas con lutitas calcáreas fosilíferas, y el miembro superior compuesto por calizas bituminosas gris oscuras y en parte brechosas, sobreyace concordantemente a la

Formación Abundancia e infrayace, también en forma concordante a la Formación Totoralillo (Arévalo, 2005). Posee una potencia estimada de 875 metros y se le asocia una edad Hauteriviense superior basado en su contenido fosilífero (Corvalán, 1974).

2.4.1.4 Formación Totoralillo (Biese-Nickel en Hoffstetter et al., 1957; Barremiense)

Definida por Biese-Nickel como “Margas de Totoralillo”, su localidad tipo se encuentra en el valle de Copiapó a 5 km al Sureste de Punta del Cobre en la localidad de Totoralillo. La Formación Totoralillo está constituida por calizas gris claro a gris amarillento, con lutitas calcáreas laminadas en la base y lutitas calcáreas arenosas con intercalación de lutitas calcáreas bioclásticas en el techo (Arévalo, 1994).

Su potencia alcanza 245 metros en la Quebrada Meléndez y se acuña hacia el norte donde alcanza 75 metros de espesor en Quebrada Cinchado (Arévalo, 1995). Según Arévalo y Mpodozis (1994) las formaciones Nantoco y Totoralillo están en contacto por falla, lo que corresponde al Cabalgamiento Cerrillos, motivo por el cual estas dos formaciones tienen edades equivalentes. Esto se confirma con el contenido fosilífero de *Crioceras andinum* el cual le asigna una edad Hauteriviense superior (Corvalán, 1974).

2.4.1.5 Formación Pabellón (Biese-Nickel en Hoffstetter et al., 1957; Barremiense superior - Aptiense)

Definida por Biese-Nickel como “calizas de Pabellón”, la localidad tipo se ubica en el sector de Pabellón, en el valle de Copiapó. Está constituida por una secuencia calcáreo-arenosa con intercalaciones de chert en su parte basal (Arévalo, 1994). La mitad superior de la sucesión se encuentra interdigitada con areniscas y conglomerados verdosos pertenecientes a la Formación Bandurrias (Segerstrom, 1960). La Formación Pabellón sobryace concordantemente a la Formación Totoralillo e infrayace en discordancia de erosión, a las rocas clásticas continentales del Miembro Checo de Cobre de la Formación Cerrillos (Segerstrom y Parker, 1959, en Arévalo 2005). Posee una potencia entre 433 metros en la Quebrada Meléndez y 699 metros en la Quebrada Cerrillos que varía debido al Cabalgamiento Cerrillos (Arévalo & Mpodozis, 1994) y basado en el contenido fósil se le asigna una edad en el rango Barremiense - Aptiense (Corvalán, 1974).

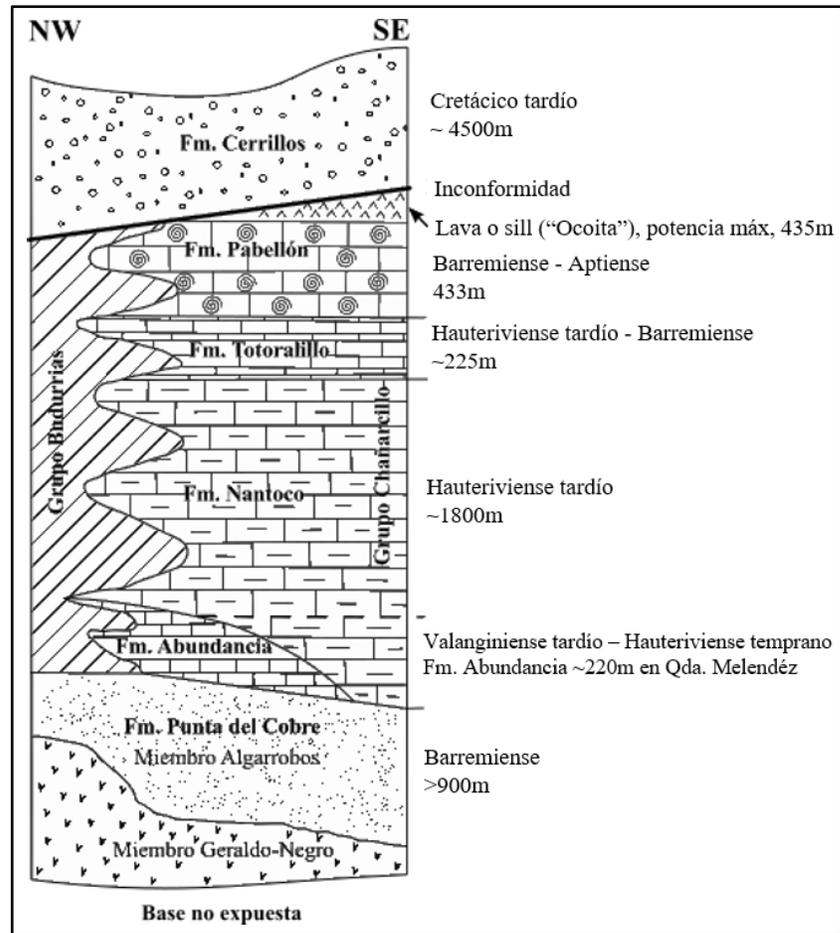


Figura 2.5: Columna estratigráfica del margen oeste de la cuenca de tras arco cerca de Copiapó (modificado de Marschik y Fontboté, 2001b).

2.4.2 Unidades litológicas de la Formación Punta del Cobre

La Formación Punta del Cobre está conformada por 4 unidades litológicas principales: unidad de andesitas inferiores, unidad de dacitas, unidad volcánica-sedimentaria y unidad de andesitas superiores (Marschik y Fontboté, 2001; del Real et al., 2018). La unidad de andesitas inferiores está compuesta predominantemente por rocas volcánicas masivas, variando desde andesitas de grano fino a grano medio, con textura porfídica y fenocristales de plagioclasa, hornblenda y en menor cantidad piroxenos. Los flujos de andesita se intercalan con autobrechas (del Real et al., 2018).

La unidad de dacitas corresponde a cuerpos masivos y brechizados, con textura porfídica, fenocristales de plagioclasa y menor ocurrencia de biotita. Las brechas ocurren comúnmente en los contactos superiores e inferiores de los cuerpos de dacitas. La unidad se interpreta como un domo de lava sobre la andesita inferior (del Real et al., 2018).

La litología de la secuencia volcánica-sedimentaria, varía espacialmente desde una brecha polimíctica en el sector este del valle del Copiapó hasta rocas sedimentarias bien estratificadas con intercalación de tobas en el sector occidental del valle de Copiapó. Estratigráficamente se correlaciona con la brecha superior de la intrusión dacítica (del Real et al., 2018). La unidad de andesitas superiores consiste en lentes discontinuos de andesitas basálticas con fenocristales de plagioclasa y lavas basálticas afáníticas. Las andesitas basálticas ocurren localmente como lavas almohadilladas (del Real et al., 2018).

2.4.3 Alteración hidrotermal

La alteración en Candelaria y en las minas pertenecientes al distrito Punta del Cobre, presentan zonificaciones concéntricas de magnetita-actinolita-apatito a hematita especular-clorita-sericita (Sillitoe, 2003). La zona más interna está representada por alteración cálcica-potásica (anfíbol cálcico \pm epidota-biotita y feldespato potásico), mientras que la zona intermedia se caracteriza por una intensa alteración potásica (biotita y/o feldespato potásico). Finalmente, en las partes más externas se presenta una intensa alteración sódica (albita) y clorítica que afectan principalmente a los minerales ferromagnesianos, a la masa fundamental de la unidad de lavas inferiores y al albitófiro. El cuarzo se asocia a la mineralización de cobre constituyendo el mineral de ganga más importante. Se cree que existen dos generaciones de este mineral, un cuarzo I se asocia a hematita especular y un cuarzo II relacionado a pirita II. También se presentan carbonatos que reemplazan a fenocristales, los cuales además se encuentran diseminados en la masa fundamental (Marschik & Fontboté, 2001).

2.4.4 Mineralización

Los elementos valiosos en el distrito se asocian a concentraciones variables de cobre, hierro, plata, oro, cobalto y manganeso, los cuales se encuentran hospedados en rocas estratificadas de la Formación Punta del Cobre y en intrusivos hipabisales del Cretácico inferior (Arévalo, 2005).

La mineralización principal en el cinturón de Punta del Cobre se caracteriza por un ensamblaje de minerales hipógenos, principalmente sulfuros como calcopirita (CuFeS_2) y pirita (FeS_2), óxidos de hierro tales como magnetita (Fe_3O_4) y hematita especular (Fe_2O_3), y localmente pirrotina Fe_{1-x}S , esfalerita (ZnS) y trazas de molibdenita (MoS_2)

(Marschik et al., 2003). Existe una zonación vertical de la mineralización, donde en la parte inferior se observa mayor concentración de pirita, mientras que en la parte superior se observa un incremento en hematita especular y mushketovita (Mush). Finalmente, hacia la parte central, en la unidad de las lavas inferiores, se hace más importante la magnetita (Pop et al., 2000).

El único mineral de cobre es la calcopirita y ocurre en forma compacta en los mantos y vetas, rellenando fracturas y espacios abiertos, entre los fragmentos de brechas en el albitófiro y diseminada en esta última roca, en asociación con porcentajes variados de pirita y hematita especular. La pirita es abundante, pero ocurre subordinada a la calcopirita. Se reconocen dos generaciones de este mineral; la pirita I que es reemplazada por calcopirita, calcita y especularita, y la pirita II que ocurre como cristales euhedrales a subhedrales y no es reemplazada por calcopirita (Camus, 1980).

Como minerales de ganga se presenta cuarzo, calcita, yeso, anhidrita y feldespatos potásicos (Pop et al., 2000).

En base a la composición mineralógica, características texturales y relaciones de cortes, con rocas ígneas datadas, establecen que la mineralización se depositó en tres etapas: una etapa temprana de Fe-Cu compuesta por la asociación de óxidos de hierro y sulfuros cortada por el dique dacítico principal, una etapa principal (Cu-Fe-Au + Zn) compuesta principalmente por sulfuros como calcopirita, pirita + esfalerita, y una etapa tardía con calcita + sulfuros cortados por diques lamprofíricos (Pop et al., 2000). Del Real et al. (2018) determina que la mineralización principal está relacionada con la litología, permeabilidad y el control estructural regional y establece que el evento más temprano de mineralización fue dominado por magnetita-actinolita en mantos estratigráficamente controlados y extensas zonas de magnetita - actinolita diseminada en las partes más profundas del sistema Candelaria. La magnetita-actinolita fue posteriormente sobrepuesta por mineralización dominante de calcopirita - pirita en vetas, fracturas y reemplazo diseminado con alteración asociada de magnetita-actinolita -biotita-feldespatos potásicos (Marschik y Fontboté, 2001; del Real et al., 2018). Además de magnetita, los óxidos de hierro incluyen magnetita secundaria generalizada (en forma de mushketovita) y hematita en la parte superior de algunos depósitos.

2.4.5 Geología estructural

Según Arévalo (2005) la geología estructural del área del distrito puede ser dividida en dos grandes dominios: el primero corresponde al dominio de la Cordillera de la Costa, mientras que el segundo dominio, en el cual está ubicado el distrito Punta del Cobre corresponde al dominio de la Precordillera y donde, las estructuras más antiguas en el valle del río de Copiapó y sur de Paipote corresponden a fallas normales de bajo y alto ángulo. A ambos lados del valle se encuentra una falla frágil de bajo ángulo la cual ocasiona el despegue parcial de la Formación Punta el Cobre de la subyacente Formación Nantoco. Las formaciones volcánicas del Cretácico inferior de Copiapó presentan depósitos minerales tipo estratiforme, diseminado, vetas y stockworks, entre las cuales se encuentran Punta del Cobre y Candelaria. Estos depósitos se formaron durante un importante evento extensional de edad Aptiense-Cenomaniense, caracterizado por el desarrollo a escala regional de fallas extensionales de bajo ángulo que dieron lugar a una serie caótica de bloques tectónicos alóctonos, el denominado “Caos de Puquios” (Mpodozis y Allmendinger, 1993) y que estuvo acompañado por el emplazamiento de un intrusivo que desencadenó un importante metamorfismo de contacto, actividad metasomática y procesos de mineralización (Oyarzún, 1999). Estos procesos extensionales no solo se restringen a la zona de Puquios, sino que también se extienden a la zona de Candelaria, donde hoy se reconocen una serie de fallas superficiales de bajo ángulo (Ryan et al., 1995), lo que probablemente correspondan a la expresión Sur-Este de los sistemas extensionales descritos en Puquios (Oyarzún, 1999). El contexto estructural en el área de Candelaria-Punta del Cobre se encuentra dominado por un gran antiforme de orientación noreste, el Anticlinorio de Tierra Amarilla, un sistema de fajas plegadas y corridas con vergencia hacia el sureste y un denso set de fallas transcurrentes sinistral de alto ángulo con tendencia noroeste (Marschick y Fontboté, 2001). La mineralización controlada estratigráficamente forma extensos yacimientos en estratos ("mantos"), que son más abundantes en la parte occidental del distrito donde el huésped litológico más importante, la secuencia volcánico-sedimentaria, está mejor desarrollado (del Real et al., 2018). La evidencia textural sugiere que el sistema hidrotermal evolucionó de manera progresiva y vertical con el tiempo (Del Real et al., 2018).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO

En la presente tesis se desarrollaron las siguientes actividades (ver Figura 3.1) y técnicas analíticas para lograr los objetivos propuestos.

3.1 Recopilación bibliográfica

En primera instancia se realizó una recopilación de información bibliográfica presentada en el capítulo de marco teórico sobre el modelo genético y las características principales de los yacimientos tipo IOCG e IOA en el norte de Chile. Además de una recolección de antecedentes geológicos y metalogenéticos generales y en detalle del distrito Punta del Cobre mediante la revisión de cartas geológicas y artículos científicos.

3.2 Recolección de muestras

Las muestras provienen de una campaña de sondajes de la Sociedad Punta del Cobre, realizada el año 2019. En el contexto del proyecto se estudiaron un total de 218 muestras recolectadas desde 9 sondajes diamantinos representativos que intersectan gran parte de las zonas mineralizadas, incluyendo unidades hospedantes y de alteraciones presentes en el Distrito. De los cuales 4 sondajes provienen de mina Punta del Cobre, 3 sondajes pertenecen a mina Mantos de Cobre y 2 sondajes de mina Granate (Tabla 3.1).

Posteriormente todas las muestras fueron sometidas a una descripción petrográfica a nivel macroscópico, seguido de un análisis mediante lupa binocular (Figura 3.2).

En cuanto a la descripción petrográfica se realizó en primer lugar una revisión macroscópica utilizando lupa 20x, rayador e imán y ácido clorhídrico. Luego se realizó una preselección de muestras para ser analizadas y fotografiadas mediante una cámara acoplada a una lupa binocular modelo Motic SMZ-171 (Figura 3.3a).

La selección final de muestras para la confección de secciones transparentes y pulidas se realizó bajo 3 criterios: El primero corresponde a la profundidad de emplazamiento de los sondajes (Tabla 3.1), el segundo corresponde a un criterio geológico de relaciones cronológicas a nivel macroscópico y por último un criterio geoquímico, es decir, se consideraron las zonas con mayores anomalías detectadas preliminarmente por Solís

(2022) mediante Fluorescencia de rayos X (XRF) de elementos estratégicos, tales como cobalto, níquel, hafnio y cerio.

Consecuentemente, se seleccionaron 84 muestras representativas, en las cuales se seleccionaron las zonas específicas para realizar las secciones delgadas y pulidas. La confección de las secciones fue encomendada a la empresa GabGeo Ltda, ubicada en la ciudad de Los Andes.



Figura 3.1: Fotografía de actividades (elaboración propia). a) Estudio petrográfico a nivel macroscópico de los 9 sondajes. b) Selección de 42 muestras representativas bajo criterio geológico, químico y ubicación espacial de los sondajes. c) Etiquetado y almacenado de muestras por cada sondaje para ser enviadas al laboratorio. d) Detalle de secciones pulidas y transparentes.

Tabla 3.1: Código de sondajes, sector y profundidad de las muestras utilizadas en el estudio petrográfico, calcográfico y de microscopía óptica (elaboración propia).

Sondaje	Muestra	Sector	Mina	Profundidad (m)	Petrografía Calcografía	Microscopía óptica
DDH13-IR-12	M1	IR	Punta del Cobre	9.6	✓	✓
DDH13-IR-12	M2	IR	Punta del Cobre	9.2	✓	✓
DDH13-IR-12	M4	IR	Punta del Cobre	16.07	✓	✓
DDH13-IR-12	M6	IR	Punta del Cobre	27.20	✓	✓
DDH14-IR-56	M2	IR	Punta del Cobre	21.78	✓	✓
DDH14-IR-56	M6	IR	Punta del Cobre	38.77	✓	✓
DDH14-IR-56	M8	IR	Punta del Cobre	54.09	✓	✓
DDH14-IR-56	M13	IR	Punta del Cobre	73.43	✓	✓
DDH14-MC-16	M1	MC	Mantos de Cobre	72.36	✓	✓
DDH14-MC-16	M2	MC	Mantos de Cobre	73.12	✓	✓
DDH14-MC-16	M7	MC	Mantos de Cobre	59.2	✓	✓
DDH14-MC-16	M11	MC	Mantos de Cobre	106.97	✓	✓
DDH14-MC-16	M25	MC	Mantos de Cobre	202.37	✓	✓
DDH14-MC-18	M4	MC	Mantos de Cobre	66.60	✓	✓
DDH14-MC-18	M5	MC	Mantos de Cobre	68.19	✓	✓
DDH14-MC-18	M15	MC	Mantos de Cobre	212.60	✓	✓
DDH14-MC-18	M17	MC	Mantos de Cobre	228.60	✓	✓
DDH15-IR-51	M5	IR	Punta del Cobre	67.68	✓	✓
DDH15-IR-51	M6	IR	Punta del Cobre	68.19	✓	✓
DDH17-GR-03	M7	GR	Granate	107.07	✓	✓
DDH17-GR-03	M8	GR	Granate	112.43	✓	✓
DDH17-GR-03	M17	GR	Granate	148.38	✓	✓
DDH17-GR-03	M20	GR	Granate	152.08	✓	✓
DDH17-GR-03	M33	GR	Granate	212.30	✓	✓
DDH17-GR-03	M36	GR	Granate	235.72	✓	✓
DDH17-MC-18	M5	MC	Mantos de Cobre	53.40	✓	✓
DDH17-MC-18	M8	MC	Mantos de Cobre	69.34	✓	✓
DDH17-MC-18	M13	MC	Mantos de Cobre	84.28	✓	✓
DDH18-GR-17	M9	GR	Granate	24.60	✓	✓
DDH18-GR-17	M10	GR	Granate	29.40	✓	✓
DDH18-GR-17	M14	GR	Granate	42.50	✓	✓
DDH18-GR-17	M22	GR	Granate	94.30	✓	✓
DDH18-GR-17	M28	GR	Granate	114.25	✓	✓
DDH18-GR-17	M31	GR	Granate	164.40	✓	✓
DDH18-GR-17	M32	GR	Granate	129.67	✓	✓
DDH18-TN-20	M3	TN	Punta del Cobre	14.64	✓	✓
DDH18-TN-20	M4	TN	Punta del Cobre	23.75	✓	✓
DDH18-TN-20	M5	TN	Punta del Cobre	23.55	✓	✓
DDH18-TN-20	M12	TN	Punta del Cobre	105.45	✓	✓
DDH18-TN-20	M15	TN	Punta del Cobre	118	✓	✓
DDH18-TN-20	M21	TN	Punta del Cobre	146.04	✓	✓
DDH18-TN-20	M22	TN	Punta del Cobre	145.49	✓	✓

Nota: abreviaciones del código de los sondajes y nombre de las minas. IR= Interior rampa, MC= Mantos de Cobre, GR= Granate, TN= Trinidad; Interior rampa y Trinidad se ubican en mina Punta del Cobre.

3.3 Análisis mediante microscopía óptica

La observación y descripción microtextural de las secciones se realizó en el laboratorio de geología económica de la Universidad de Atacama, en la cual se revisaron y describieron un total de 42 secciones transparentes y 42 secciones pulidas representativas con especial énfasis en la mineralogía de mena, sus patrones de crecimiento y cronología de depositación. Para ello se creó una ficha resumen con la descripción macroscópica y microscópica de las 42 muestras de sondaje (Tabla 3.2). Para el caso de la medición de estructuras y tamaño de cristales se utilizó los parámetros ópticos de aumento de objeto, amplitud ocular de cada equipo para determinar el diámetro del campo visual en micras y milímetros como se simplifica en la Tabla 3.3. En cuanto a la captura de fotomicrografías se utilizó un adaptador universal para soporte de celular modelo Samsung Galaxy A21s con una resolución de cámara de 48 mega pixeles.

3.3.1 Análisis de unidades de alteración

Esta etapa del estudio se enfocó en caracterizar y describir petrográficamente los eventos de alteración en luz polarizada plana y en luz polarizada más analizador, por medio de un microscopio de luz transmitida modelo Leitz Laborlux S, mostrado en la Figura 3.2.

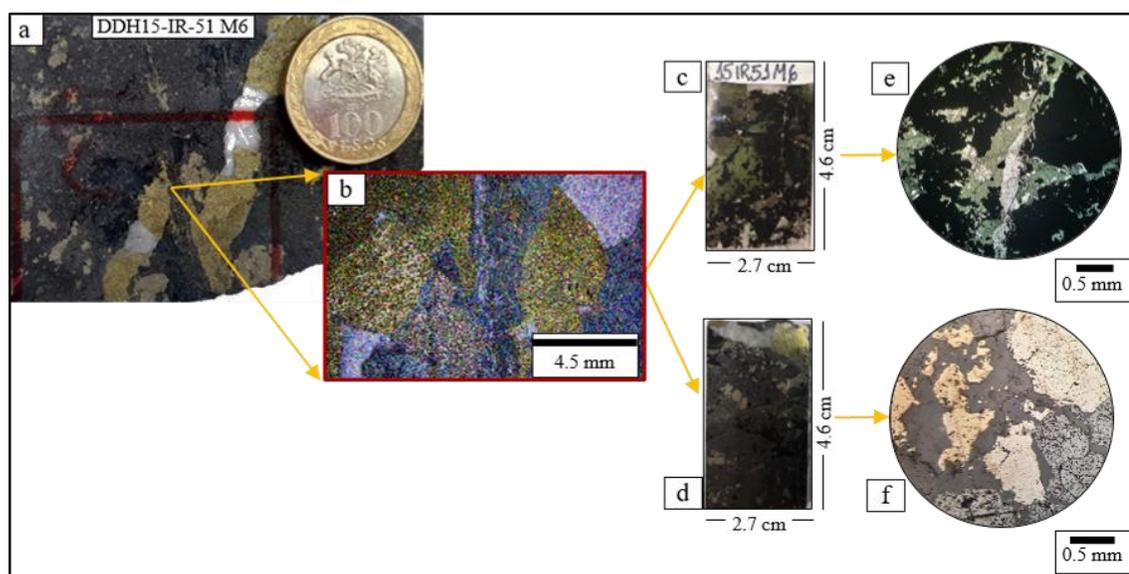


Figura 3.2: Resumen esquemático de la metodología fundamental (elaboración propia). a) Sondaje DDH15-IR-51 muestra M6 revisada macroscópicamente, el rectángulo rojo representa el área en donde se realizó la sección delgada. b) Fotografía del rectángulo de la sección delgada mediante lupa binocular en aumento 1x. c) Fotografía de sección transparente y sus dimensiones. d) Fotografía de sección pulida y sus dimensiones. e) Microfotografía de sección transparente con aumento 4x en luz polarizada plana revisada en microscopio Leitz Laborlux S. f) Microfotografía de sección pulida con aumento 5x en luz polarizada plana revisada en microscopio Motic BA310pol.

3.3.2 Análisis calcográfico

Con el propósito de documentar las relaciones paragenéticas, mineralógicas y texturales se realizó una descripción calcográfica con especial énfasis en la observación y caracterización de la asociación mineral, relación espacial y temporalidad de pirita, calcopirita y pirrotina, en luz polarizada plana y en luz polarizada más analizador, mediante el uso de un microscopio de luz reflejada marca Motic BA310pol (Figura 3.3c).

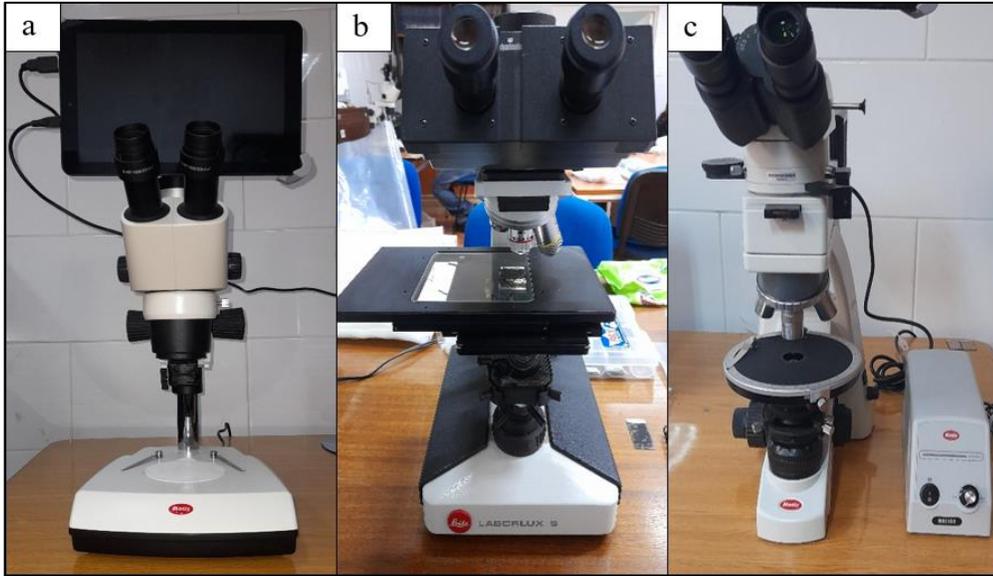


Figura 3.3: Marca y modelo de los equipos utilizados en la etapa de análisis de muestras (elaboración propia). a) Lupa binocular modelo Motic SMZ-171. b) Microscopio de luz transmitida modelo Leitz Laborlux S. c) Microscopio de luz transmitida/reflejada marca Motic BA310pol.

Tabla 3.2: Ficha tipo para el registro de los resultados obtenidos de la observación macroscópica y microscópica de las muestras en etapa de gabinete (elaboración propia).

Sondaje		Muestra
Observaciones macroscópicas		
Observaciones microscópicas		
Fotografía macroscópica		
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		
Alteración		
Mena		
Vetillas y microtexturas		
Relaciones cronológicas		
Fotografía sección transparente		Fotografía sección pulida
Microfotografía sección transparente		Microfotografía sección pulida

Tabla 3.3: Especificaciones técnicas de lupa binocular y de microscopios utilizados, con su respectivo aumento de objetivo, aumento y amplitud del ocular, aumento total microscopio y diámetro del campo visual en micras y milímetros.

Equipo	Aumento objetivo	Amplitud ocular	Aumento total microscopio	Diámetro campo visual (micras)	Diámetro campo visual (mm)
Lupa Binocular	0.75x	10x/23mm	7.5x	30.700	30.7
Motic SMZ-171	1x	10x/23mm	10x	2.300	2.3
Microscopio	4x	12.5x/18mm	50x	4.500	4.5
Leitz Laborlux S	10x	12.5x/18mm	125x	1.800	1.8
Microscopio	5x	10x/20mm	50x	4.000	4.0
Motic BA310pol	10x	10x/20mm	100x	2.000	2.0

CAPÍTULO IV: RESULTADOS PETRO-CALCOGRÁFICOS

Este capítulo presenta una detallada caracterización petro-calcográfica de las distintas asociaciones de alteración y mineralización en el distrito Punta del Cobre, con especial énfasis en los sulfuros de Fe y Fe-Cu. Estas descripciones definen y caracterizan los diferentes ensamblajes de sulfuros, sus respectivas texturas y su relación espacial con minerales de alteración.

Es importante destacar que en este trabajo de tesis se utiliza el término “ensamblaje” para hacer referencia a una coexistencia espacial de los minerales de alteración-mineralización y no a una paragénesis propiamente tal.

En el distrito Punta del Cobre, las fases sulfuradas presentes consisten fundamentalmente en una asociación diseminada de pirita-calcopirita en proporción 1/1, de tamaños de cristal que van desde milímetros a centímetros, encontradas en mina Mantos de Cobre, mina Punta del Cobre y en mina Granate, sólo en esta última mina se registra pirrotina.

Estas mineralizaciones ocurren además en vetas, stockwork y en brechas hidrotermales acompañadas por magnetita, que en ocasiones reemplazan la roca de caja en su totalidad.

A escala microscópica es posible reconocer texturas de bordes mutuos entre cristales de calcopirita y pirita (Figura 4.1a), sin embargo, también se reconocen texturas de reemplazo de pirita por calcopirita (Figura 4.1b), además de pequeñas inclusiones de calcopirita en pirita (Figura 4.1c) y por último se observa la precipitación de calcopirita rellenando fractura en cristales de pirita (Figura 4.1d).

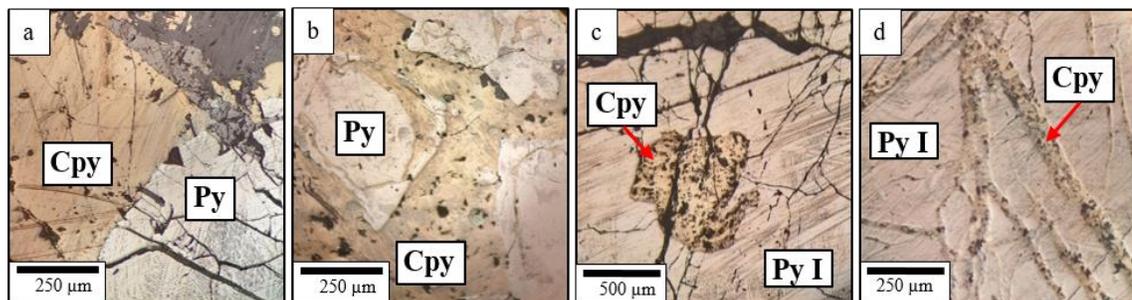


Figura 4.1: Fotomicrografías de secciones pulidas en donde se representan las texturas reconocidas en las muestras estudiadas. a) Textura de bordes mutuos entre pirita y calcopirita. b) Textura de reemplazo de pirita por calcopirita. c) Inclusiones de calcopirita en pirita. d) Relleno de fracturas por calcopirita en cristales de pirita.

Las descripciones detalladas de cada muestra estudiada se presenta en el ANEXO I.

4.1 Mineralogía fases sulfuradas de hierro y hierro-cobre

4.1.1 Pirita

En general los cristales de pirita son subhedrales a euhedrales, de color amarillo pálido, hábito cúbico, con caras estriadas, los cuales se presentan de manera diseminada, en vetas y vetillas. Su ocurrencia se observa en los 3 depósitos estudiados.

Según relaciones de corte con calcopirita observadas en las diferentes minas, se reconocen dos generaciones principales de pirita: pirita I y pirita II, las cuales son descritas a continuación:

4.1.1.1 Pirita I

La mineralización de pirita ocurre asociada a magnetita masiva como matriz de brecha hidrotermal y cristales de calcopirita diseminados (Figura 4.2a). Y se asocia principalmente con la ocurrencia de feldespatos potásico y en menor medida por vetas de clorita pervasiva acompañada de epidota y magnetita (Figura 4.2b). Por último en el evento de magnetita masiva que brechizó la roca de caja le sigue una alteración de clorita que percoló la roca, dejando clastos de feldespatos potásico, posteriormente a estos eventos se depositaron pirita-calcopirita diseminados que a su vez son cortados por vetas tardías de calcita-calcopirita-pirita (Figura 4.2c). Normalmente esta fase de pirita presenta cristales de forma anhedral a subhedral, con cristales cuyos tamaños varían entre 0.5 y 2mm que se presenta un reemplazo por calcopirita, tanto en sus bordes (anillo) (Figura 4.2a.1), como en fracturas (Figura 4.2b.1). Además se observa diseminada junto a cristales tempranos de magnetita (Figura 4.2c.1).

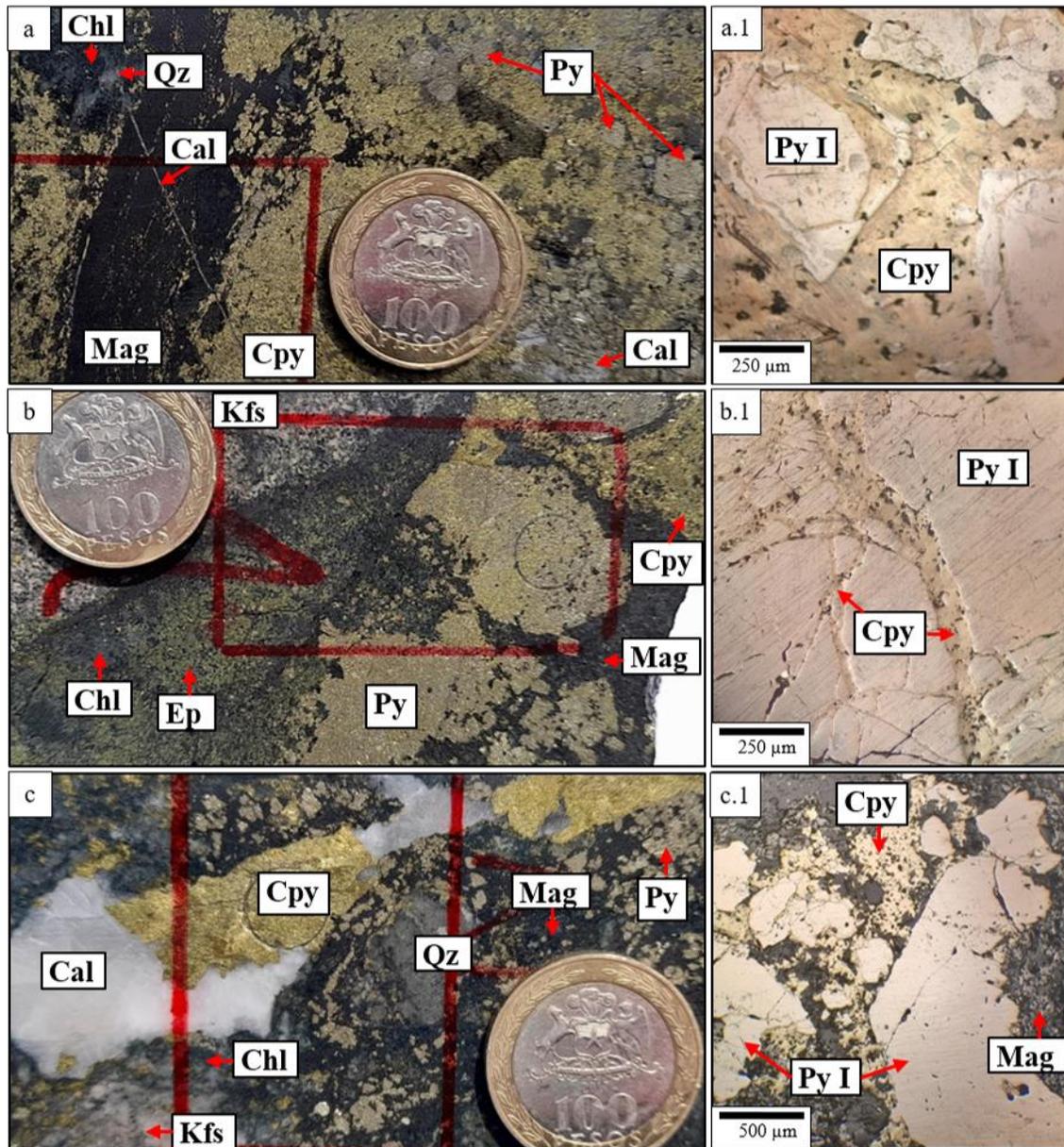


Figura 4.2: Fotografías de la mineralización presente en las tres minas estudiadas y sus respectivas fotomicrografías de las secciones pulidas. (a) Fotografía de mina Punta del Cobre donde se observa mineralización masiva de pirita-calcopirita junto a calcita cortando a matriz de magnetita. (a.1) Fotomicrografía de mina Punta del Cobre en aumento 10x en luz reflejada y en LPP donde se observan cristales subhedrales de pirita I cortados por calcopirita en anillo e incluida. (b) Fotografía de mina Granate donde se observa veta de pirita-calcopirita-magnetita y clorita cortando a zona de feldespato potásico. (b.1) Fotomicrografía en aumento 10x en luz reflejada y en LPP donde se presenta calcopirita depositadas en fracturas de pirita I. (c) Fotografía de mina Mantos de Cobre donde se observa veta de calcita y calcopirita cortando a una brecha hidrotermal de magnetita-pirita-calcopirita, además se registra clastos de feldespato potásico y clorita en la matriz. (c.1) Fotomicrografía en aumento 5x en luz reflejada y en LPP donde se observa calcopirita relleno de intersticios entre los cristales de pirita.

4.1.1.2 Pirita II

Esta fase mineral es observada principalmente en muestras de mina Mantos de Cobre y Punta del Cobre, y corresponde a una generación de cristales con forma subhedral a euhedral de tamaño 0.5 a 2.5mm, no es reemplazada por calcopirita y se encuentra asociada con vetas de calcopirita-clorita (Figura 4.3a) y cuarzo (Figura 4.3b) cortando a matriz de magnetita. En la Figura 4.3a.1 se observan cristales subhedrales de pirita II y calcopirita rellenando intersticios entre cristales de pirita I.

Finalmente se observan cristales de calcopirita que sobrecrecen “pasivamente” sobre los cristales de pirita I y en sus intersticios, sin un proceso de disolución previa, además de cristales euhedrales de pirita II (Figura 4.3b.1).

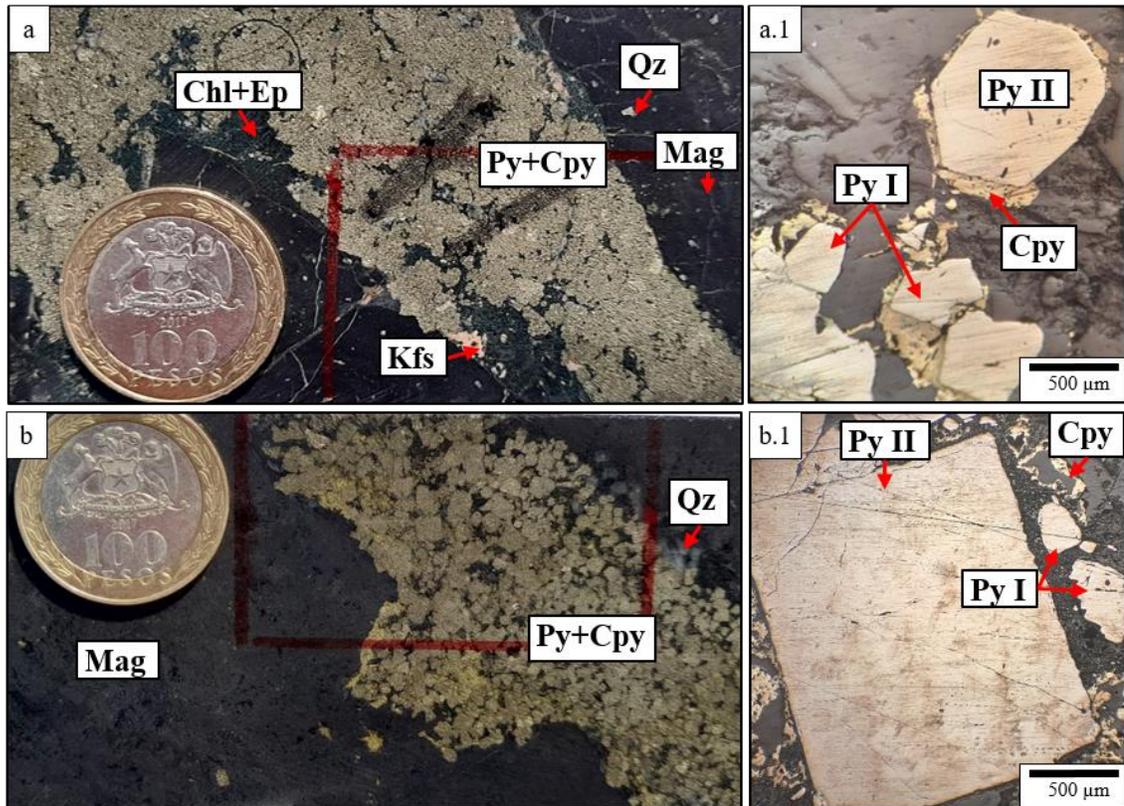


Figura 4.3: Fotografías de zonas mineralizadas y sus respectivas fotomicrografías de secciones pulidas de mina Mantos de Cobre (a-a.1) y mina Punta del Cobre (b-b.1). (a) Fotografía de veta de calcopirita-pirita-clorita y feldespatos potásico cortando zona de magnetita masiva. (a.1) Fotomicrografía en aumento 5x en luz reflejada y en LPP donde se observan cristales subhedrales de pirita II cortando a calcopirita y cristales anhedrales de pirita I corroídos cóncavamente en sus bordes por calcopirita. (b) Fotografía de veta de calcopirita-pirita y cuarzo cortando a magnetita masiva. (b.1) Fotomicrografía en aumento 5x en luz reflejada y en LPP de cristales euhedrales de 2.5mm de pirita II cortando a cristales diseminados de calcopirita y pirita I.

4.1.2 Calcopirita

Es el único mineral de mena de cobre observado en los 3 depósitos estudiados. La calcopirita ocurre de manera disseminada asociada a brechas hidrotermales de magnetita-clorita, en stockwork con pirita-calcita-mushketovita (Figura 4.4a) y formando parte de vetas sinuosas con pirita-clorita y en ocasiones junto a calcita (Figura 4.4b) y finalmente se presenta en vetas con anfíboles secundarios (Figura 4.4c). Microscópicamente la calcopirita se presenta como cristales anhedrales que son cortados por cristales de mushketovita (Figura 4.4a.1). Además, los cristales de calcopirita cortan a pirita I en sus microfracturas (Figura 4.4b.1). Por último, reemplazan a la pirita I (Figura 4.4c.1).

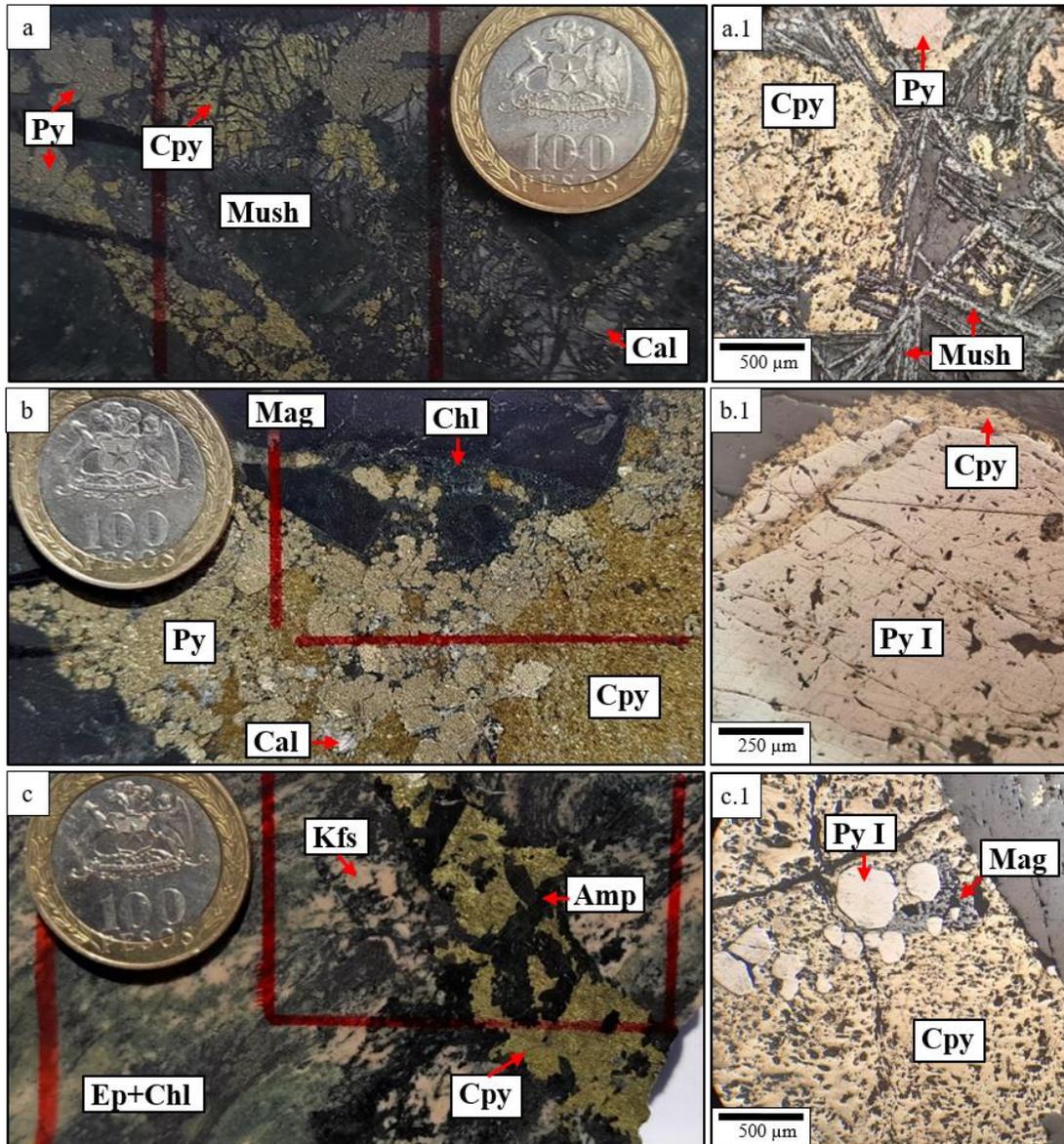


Figura 4.4: Fotografías de zonas mineralizadas de las tres minas junto a sus respectivas fotomicrografías de las secciones pulidas en luz reflejada y en LPP. (a) Fotografía de mina Punta del Cobre donde se observa un stockwork de calcopirita-pirita-calcita y mushketovita. (a.1) Fotomicrografía de mina Punta del Cobre en aumento 5x donde se observan cristales de calcopirita y pirita cortados por mushketovita. (b) Fotografía de mina Mantos de Cobre en donde se observa vetas de pirita-calcopirita-calcita y clorita cortando a matriz de magnetita. (b.1) Fotomicrografía de mina Mantos de Cobre en aumento 10x en donde se observa cristal de pirita I subhedral cortada por calcopirita en sus fracturas. (c) Fotografía de mina Granate donde se observa zona de feldspato potásico-clorita-epidota cortada por una veta de calcopirita y anfíboles secundarios. (c.1) Fotomicrografía de mina Granate en aumento 5x donde se observan cristales subhedrales de pirita que son reemplazados por calcopirita.

4.1.3 Pirrotina

Esta fase mineral se encuentra asociada a vetas de pirita-calcopirita que cortan a alteración intensa de clorita-epidota-actinolita y silicificación masiva (Figura 4.5a). Su ocurrencia se registra solamente en muestras de mina Granate (sondaje DDH18-GR-17 M10).

En las secciones pulidas se observa a la pirrotina cortando a cristales anhedrales de calcopirita y, a su vez la calcopirita se deposita en intersticios de pirita I (Figura 4.5b). Además, se registra el reemplazo de cristales subhedrales de pirita y magnetita por pirrotina (Figura 4.5c).

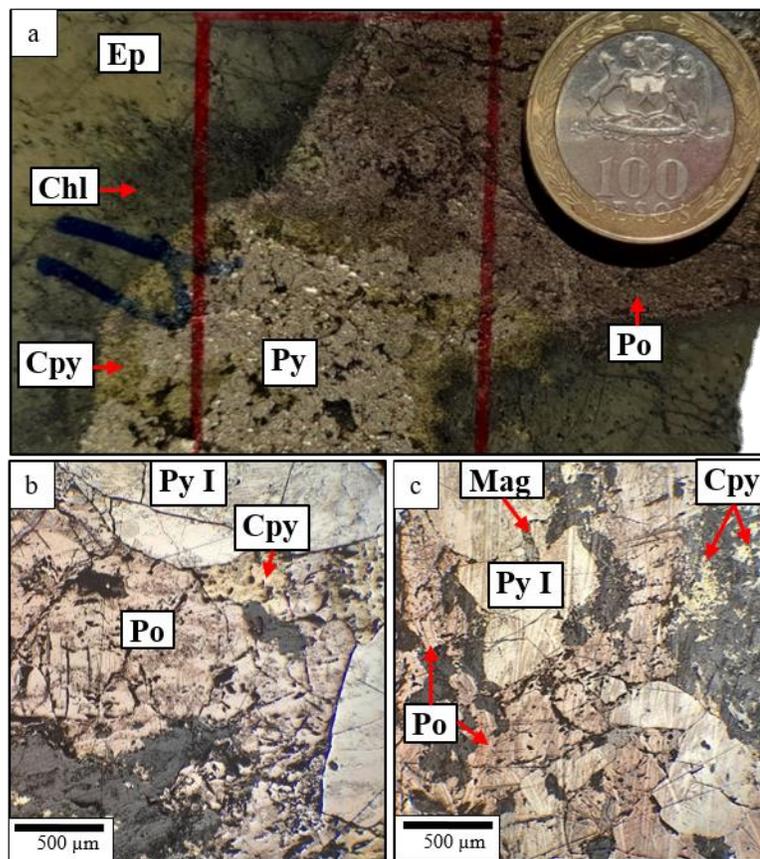


Figura 4.5: Fotografía y fotomicrografías de zonas mineralizadas de mina Granate. (a) Fotografía donde se observa zona masiva de alteración clorita-epidota cortada por veta mineralizada de 3 cm de espesor de pirita-calcopirita y pirrotina. (b) Fotomicrografía de secciones pulidas en luz reflejada, en aumento 5x y en LPP donde se observa pirrotina anhedral diseminada reemplazando a calcopirita anhedral, a su vez la calcopirita se deposita en intersticios de cristales subhedrales de pirita I. (c) Fotomicrografía de secciones pulidas en luz reflejada, en aumento 5x y en LPP donde se observa el reemplazo de pirita y magnetita en pirrotina.

4.2 Mineralogía de alteración

En general la textura original de las rocas hospedantes fue obliterada por una alteración pervasiva asociado a un evento de brechización hidrotermal de clorita de variedad férrica-magnésica y magnetita que está relacionada directamente con la mineralización de sulfuros.

La alteración predominante es la potásica observada en los tres depósitos (presente en 20 muestras), le sigue la alteración clorita-epidota, cuarzo secundario y vetas de calcita.

Para mina Granate la principal alteración corresponde a clorita pervasiva de variedad férrica y magnésica. Además, en esta mina se observó en casos puntuales minerales secundarios de piroxenos, actinolita, anhidrita y anfíboles secundarios. Estos anfíboles fueron registrados del mismo modo en mina Mantos de Cobre.

4.2.1 Feldespato potásico

Esta alteración hidrotermal se observa principalmente en mina Mantos de Cobre y en mina Granate, de manera pervasiva y en vetas con una intensidad moderada a intensa. En algunas ocasiones esta alteración es pervasiva, reemplazando totalmente la roca de caja y otras veces altera selectivamente a los cristales de plagioclasa (Figura 4.6a), donde en ocasiones se encuentra acompañada por alteración silícea (K-sil) (Figura 4.6b). A esta alteración normalmente se le sobreimpone un evento de epidota de variedad pistacita (Figura 4.6d). Se presenta tanto de manera masiva como en vetas mineralizadas de pirita-calcopirita, en las cuales se observan halos de anfíboles secundarios (Figura 4.6c). Finalmente, en mina Punta del Cobre esta alteración no ocurre de manera frecuente.

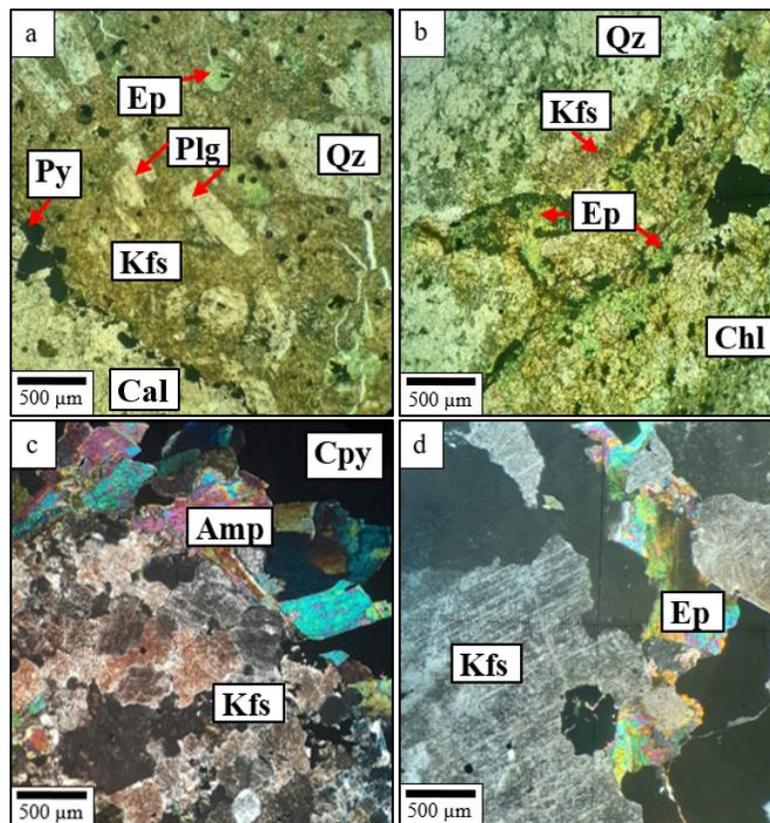


Figura 4.6: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de las tres minas estudiadas. (a) Fotomicrografía en LPP de mina Punta del Cobre donde se observa restos de roca de caja (plagioclasa) cortado por alteración de feldespato potásico y cuarzo diseminado que forman una masa afanítica de alteración que es cortada posteriormente por un evento de calcita. (b) Fotomicrografía en LPP de mina Mantos de Cobre donde se observa una veta de feldespato potásico y epidota que cortan a alteración de clorita y sílice. (c) Fotomicrografía en NC de mina Granate donde se observa zona de alteración de feldespato potásico cortada por veta de anfíboles secundarios y calcopirita (d) Fotomicrografía en NC de mina Granate donde se observa alteración masiva de feldespato potásico cortado por una veta de epidota acompañada de minerales opacos.

4.2.2 Clorita

La alteración a clorita se presenta en la gran mayoría de las muestras estudiadas, de manera intensa y pervasiva, obliterando por completo la roca caja, donde en ocasiones se observan cristales relictos de plagioclasa inmersos en esta alteración (Figura 4.7a). Se distinguen en NC dos tipos de clorita, una de color azulado rica en hierro denominada férrica y una de color pardo denominada magnésica (Figura 4.7b). Ambos tipos se registraron en mina Punta del Cobre y en mina Mantos de Cobre en donde sus proporciones son prácticamente de 1/1. En la (Figura 4.7c) se observa clorita masiva siendo cortada por cristales de cuarzo secundario y una veta de calcita. Además, ocurre en intersticios y límites de cristales de pirita (Figura 4.7d).

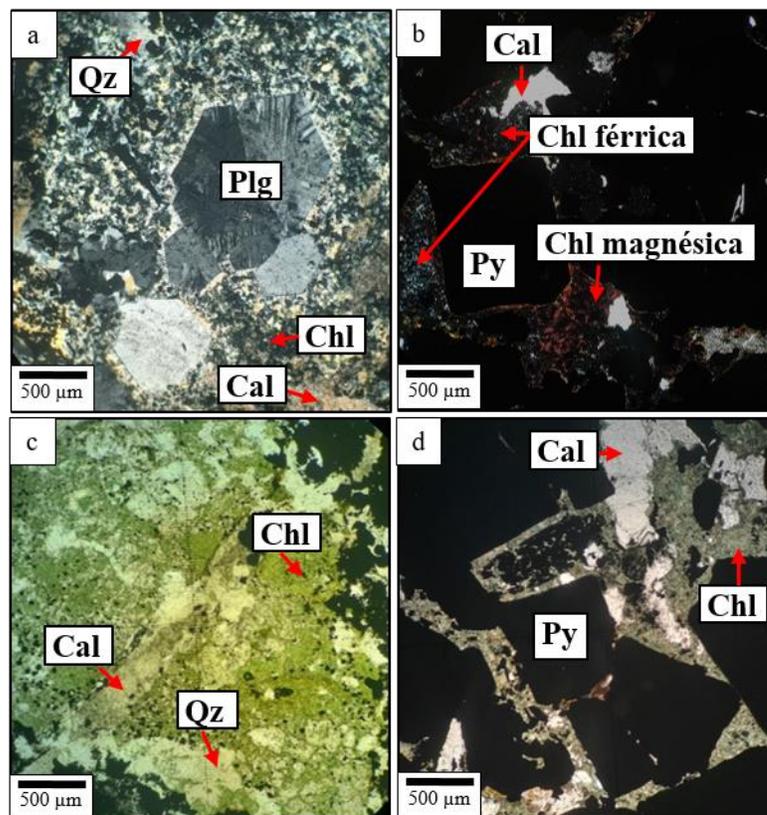


Figura 4.7: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Punta del Cobre. (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de plagioclasa inmersos en alteración de clorita y sílice afanítico. (b) Fotomicrografía en NC donde se observa dos tipos de clorita en color rojizo clorita magnésica y en azul clorita férrica que rodean un cristal de pirita. (c) Fotomicrografía en LPP de clorita masiva y cristales de cuarzo posteriores cortando esta alteración, a su vez es cortada por una vetilla de calcita. (d) Fotomicrografía en LPP donde se observa clorita alterando bordes de cristales de pirita.

4.2.3 Alteración clorita-epidota

Destaca por el desarrollo de epidota en cúmulos, diseminada y en vetillas acompañada de clorita. Esta asociación se observa principalmente en las minas Mantos de Cobre y Granate. Se reconocen dos tipos de epidota: zoisita y pistacita, la primera se da junto a clorita diseminada en brechas de magnetita cortando a la alteración de feldespato potásico (Figura 4.8a), mientras que la segunda ocurre acompañada de clorita férrica principalmente en vetas que cortan a cuarzo secundario (Figura 4.8b).

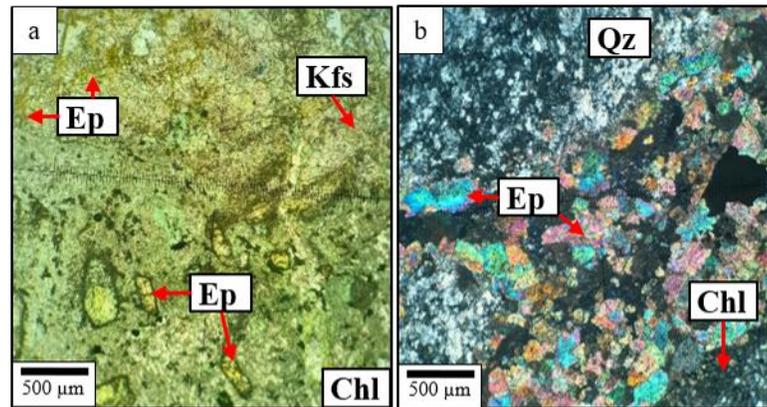


Figura 4.8: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Mantos de Cobre. (a) Fotomicrografía en LPP donde se observa alteración de clorita temprana con alteración de epidota cortándola. (b) Fotomicrografía en NC donde se observa cuarzo diseminado cortada por una veta de epidota del tipo pistacita acompañado de clorita férrica.

4.2.4 Alteración silíceá

Corresponde a una alteración tardía de cuarzo secundario, la cual está presente en gran parte de las muestras de los 3 depósitos, con intensidades de leves a intensas. Ocurre en vetas con calcita y clorita (Figura 4.9a) y en vetas de cuarzo subhedral con halos de clorita férrica (Figura 4.9b). En la (Figura 4.9c) se observa una veta de cuarzo secundario estéril cortado por una veta de cuarzo-calcita-pirita inmersos en matriz de brecha hidrotermal de magnetita. Además, se registran cristales euhedrales de cuarzo en vetas con un halo de clorita magnésica en matriz de cuarzo afanítico (Figura 4.9d).

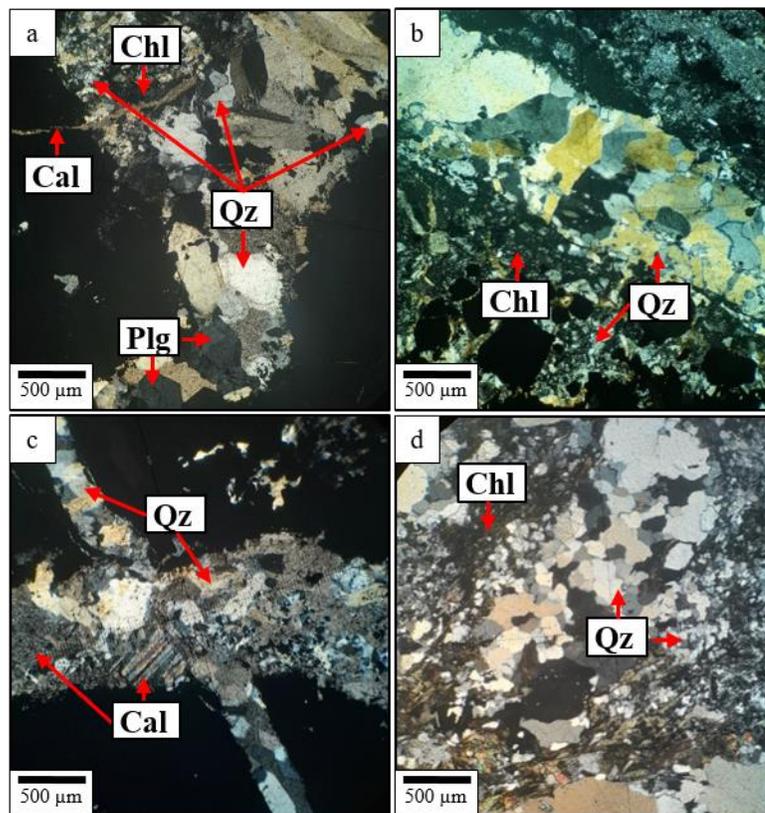


Figura 4.9: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Punta del Cobre (fotomicrografía a, b y c) y de mina Granate (fotomicrografía d). (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de cuarzo de tamaño 0.1 a 0.5mm en veta junto a alteración de clorita férrica cortada por vetilla de calcita. (b) Fotomicrografía en NC donde se observa veta de cuarzo de 1mm de espesor y en sus bordes alteración de clorita férrica y minerales de mena. (c) Fotomicrografía en NC donde se observa vetilla de cuarzo secundario de 0.2 mm de espesor cortada por veta 1 mm de espesor de calcita, cuarzo y pirita. (d) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de cuarzo junto a una matriz de clorita afaníticos y sobre esta un cúmulo de cristales de cuarzo crecidos.

4.2.5 Hematita y hematita especular

La hematita se registró en muestras pertenecientes a mina Punta del Cobre. Ocurre en vetas mineralizadas con cristales subhedrales de pirita I y calcopirita en menor medida (Figura 4.10a). La hematita especular también se registró en mina Punta del Cobre y, ocurre en vetas junto a cristales de calcopirita, pirita I y calcita tardía (Figura 4.10b).

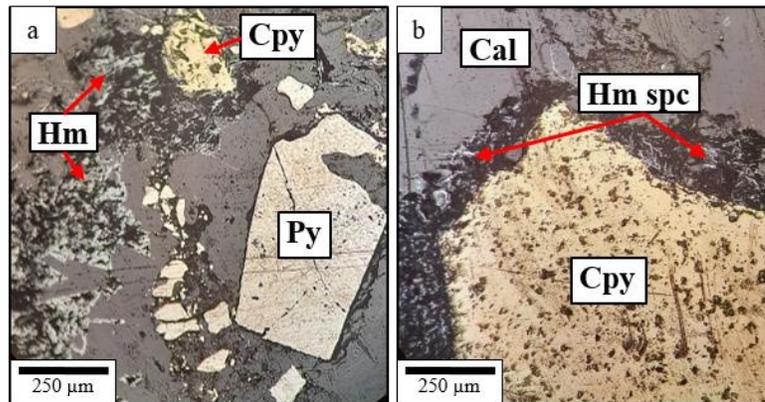


Figura 4.10: Fotomicrografías en LPP de secciones pulidas en luz reflejada y en aumento 10x de zonas mineralizadas de mina Punta del Cobre. (a) Fotomicrografía donde se observa veta de hematita y pirita. (b) Fotomicrografía veta de calcita cristal de calcopirita y hematita especular.

4.2.6 Magnetita

Ocurre como brecha hidrotermal de cristales muy finos de manera diseminada que percolan la roca de caja en los 3 depósitos estudiados. Ocurre en vetas mineralizadas con pirita subhedral y calcopirita anhedral (Figura 4.11a). Además, se da posteriormente de manera masiva cortando a vetas de pirita y calcopirita (Figura 4.11b).

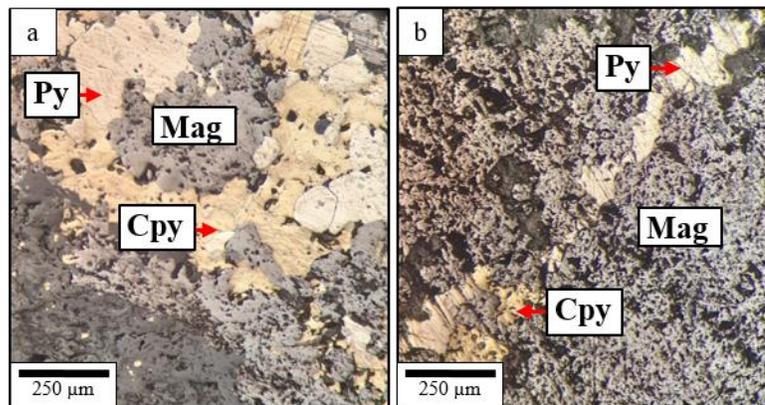


Figura 4.11: Fotomicrografías en LPP de secciones pulidas en luz reflejada con aumento 10x de zonas mineralizadas de mina Mantos de Cobre (fotomicrografía a) y de mina Punta del Cobre (fotomicrografía b). (a) Fotomicrografía de magnetita cortando a pirita y calcopirita. (b) Fotomicrografía de veta de pirita y calcopirita cortada por magnetita.

4.2.7 Anfíboles secundarios

Se registra en muestras de mina Mantos de Cobre y ocurren en vetas de epidota junto a mineralización de calcopirita y en menor medida presencia de cristales de pirita I, esta veta corta una masa afanítica de cuarzo secundario (Figura 4.12a). Además, en muestras de mina Granate se observan cristales de anfíboles secundarios de grandes dimensiones (0.5 a 2mm) como halos de vetas de pirita y calcopirita. Estos cristales cortan a alteración de feldespato potásico (Figura 4.12b).

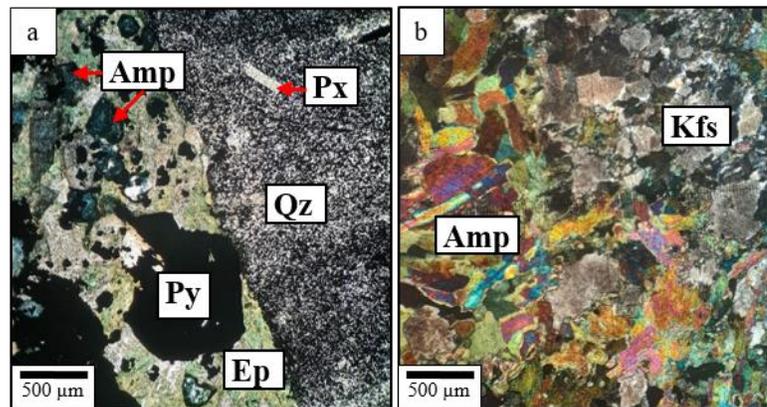


Figura 4.12: Fotomicrografías de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas. (a) Fotomicrografía en LPP de mina Mantos de Cobre, se observa una veta de epidota-pirita y cristales de anfíboles diseminados de 0.1mm cortando a cuarzo secundario. (b) Fotomicrografía en NC de mina Granate donde se observa alteración de feldespato potásico cortada por veta de anfíboles secundarios.

4.2.8 Piroxeno

Se observan cristales secundarios de clinopiroxeno y ortopiroxenos en mina Granate de dimensiones mayores a 1 mm (Figura 4.13a), estos ocurren como halo de vetas que cortan a alteración de feldespato potásico (Figura 4.13b).

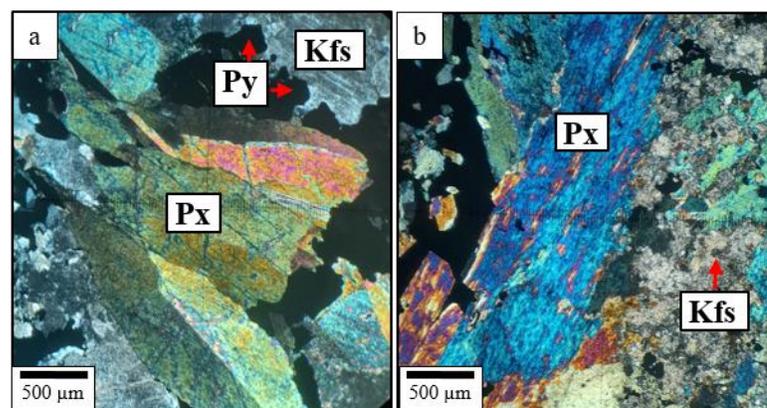


Figura 4.13: Fotomicrografías en NC de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate. (a) Fotomicrografía de cristales mayores de 1mm de piroxenos secundarios mayores a 1mm junto a pirita. (b) Fotomicrografía donde se observa veta de minerales opacos y en sus bordes piroxenos secundarios cortando a alteración de feldespato potásico.

4.2.9 Biotita cloritizada

Se registran cristales puntuales en mina Mantos de Cobre de biotita cloritizada de tamaño 1mm dentro de una veta de epidota (pistacita)-pirita y cuarzo secundario (Figura 4.14a). Además, se observan cristales mayores a 2.5mm de biotita cloritizada en veta de epidota-cuarzo secundario cortando a alteración de feldespato potásico (Figura 4.14b).

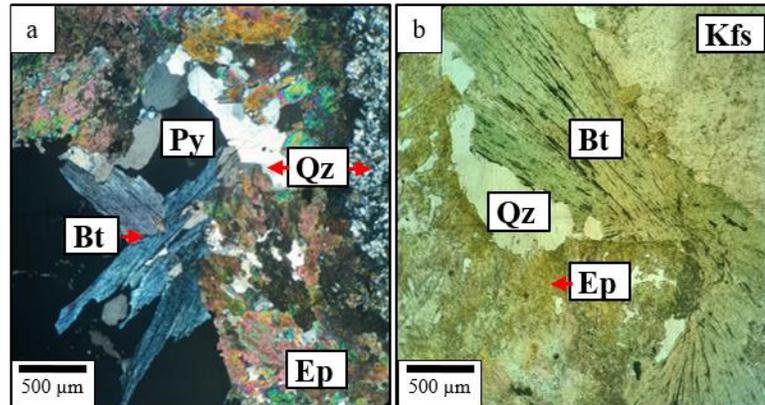


Figura 4.14: Fotomicrografía de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Mantos de Cobre. (a) Fotomicrografía en NC donde se observa veta de biotita-pistacita-cuarzo. (b) Fotomicrografía en LPP donde se observa cristales de biotita mayores a 2.5 mm en veta de pistacita-cuarzo secundario cortando a feldespato potásico.

4.2.10 Actinolita

Se logran identificar cristales aciculares de actinolita subhedrales de hasta 0.5mm, cortando a calcita y acompañada de mineralización de magnetita y pirita diseminada presente sólo en muestras de mina Granate. (Figura 4.15a). Además, en muestras puntuales se observa actinolita cortando a calcita y pistacita (Figura 4.15b).

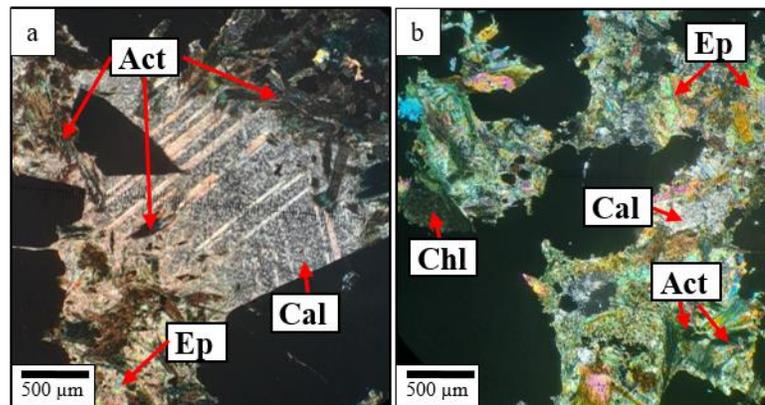


Figura 4.15: Fotomicrografía de secciones transparentes en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate. (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de calcita sobreimpuestos por alteración de epidota y actinolita. (b) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de actinolita acompañada de epidota y clorita sobre cristales de calcita.

4.2.11 Anhidrita

Se logra identificar vetas de anhidrita de 10cm de espesor con mineralización de pirita y calcopirita en sus bordes. se registra solo en muestras de mina Granate (Figura 4.16a). En los bordes de la veta se da un halo de clorita magnésica y epidota (Figura 4.16b).

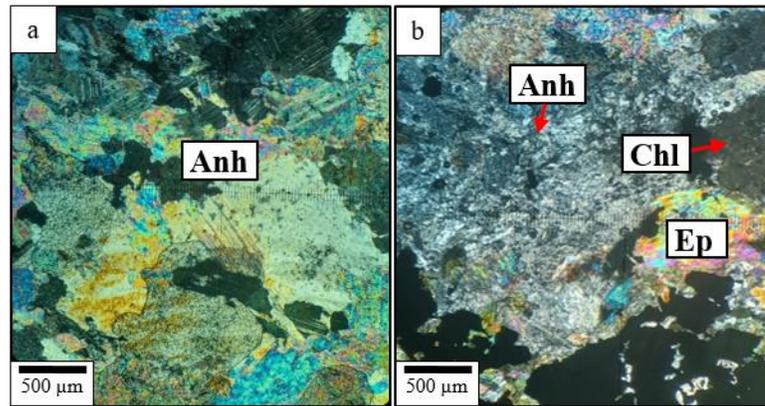


Figura 4.16: Fotomicrografía de secciones transparentes en luz transmitida en NC y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate. (a) Fotomicrografía en donde se observan cristales de una veta de anhidrita. (b) Fotomicrografía en donde se observa veta de anhidrita y alteración de epidota, clorita y cuarzo en sus bordes.

4.2.12 Calcita

Se registra ocurrencia de calcita en las 3 minas estudiadas. Se presenta en vetas y vetillas tardías, sinuosas y de espesor variable desde 0.25mm a 2mm acompañadas de cuarzo o cortadas por vetillas de cuarzo (Figura 4.17a). Se presentan vetillas estériles, así como vetas de calcita enriquecidas en pirita-calcopirita (Figura 4.17b).

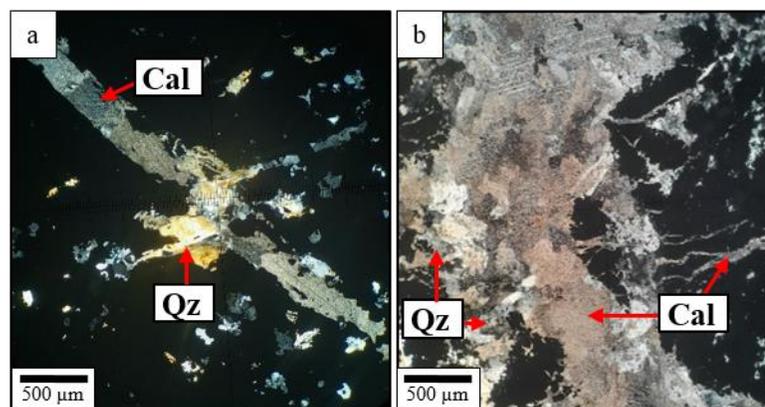


Figura 4.17: Fotomicrografías en NC de secciones transparente en luz transmitida y en aumento 4x de zonas alteradas de mina Punta del Cobre. (a) Fotomicrografía de veta de calcita de 0.25mm de espesor cortada por vetillas de cuarzo. (b) Se observa veta de calcita y en los bordes cuarzo que cortan vetillas estériles de calcita anteriores.

4.2.13 Mushketovita

Corresponde a hematita especular reemplazada por magnetita y se registran pequeños cristales aciculares (Figura 4.18a) en mina Punta del Cobre y en mina Granate, que están cortando a cristales de pirita y calcopirita, además se observan cristales de gran dimensión que cortan a cuarzo-calcita y calcopirita (Figura 4.18b).

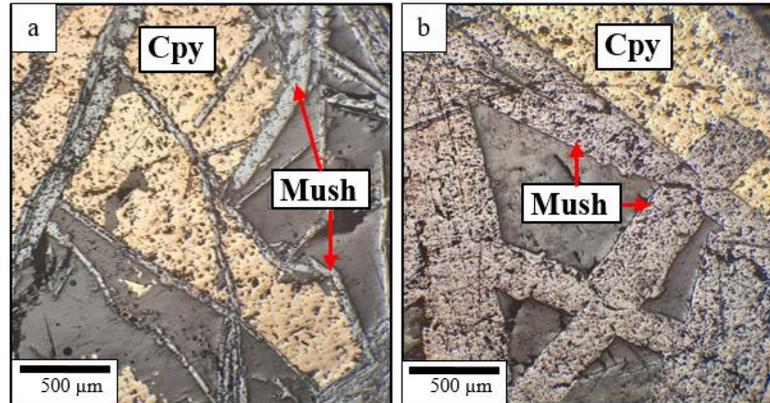


Figura 4.18: Fotomicrografías en LPP de secciones pulidas en luz reflejada con aumento 5x de zonas mineralizadas de mina Punta del Cobre. (a) Se observan cristales de mushketovita cortando a calcopirita. (b) Cristales de mushketovita de gran dimensión (0.5mm espesor) interceptando a calcopirita.

4.2.14 Jarosita y goetita

Se reconoce goetita en muestras de mina Mantos de Cobre y Granate, ocurren en vetillas y diseminado cortando a cuarzo secundario, corresponden al evento más tardío de todo el distrito (Figura 4.19a). Se registra jarosita en muestras puntuales de mina Punta del Cobre ocurre en vetillas o calcita, cortando a alteración de clorita (Figura 4.19b).

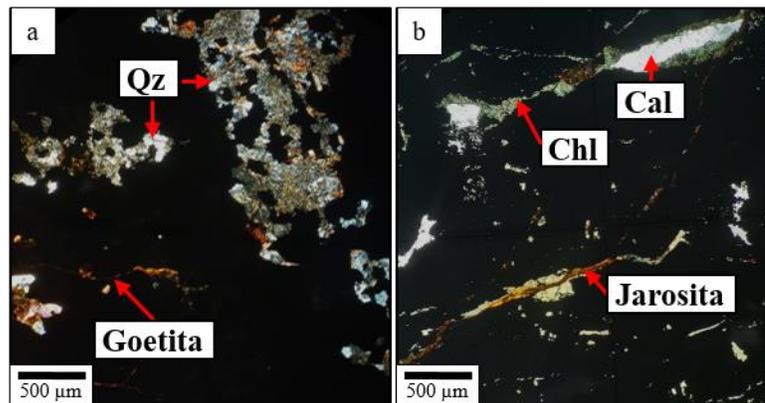


Figura 4.19: Fotomicrografías de secciones reflejadas con aumento 4x de zonas alteradas de mina Granate (fotomicrografía a) y mina Punta del Cobre (fotomicrografía b). (a) Fotomicrografía en NC donde se observan cristales de cuarzo interceptado por goetita. (b) Fotomicrografía en LPP donde se observa vetilla de clorita y calcita y posterior jarosita.

En la Tabla 4.1 se muestra un resumen de los principales ensamblajes mineralógicos reconocidos en cada sección delgada, de las principales menas y alteraciones asociadas, siendo la de mayor ocurrencia clorita y feldespato potásico de manera pervasiva diseminada y en vetas.

Tabla 4.1: Principales asociaciones mineralógicas y tipos de alteración presentes en el distrito Punta del Cobre.

Sondaje	Muestra	Mineralogía metálica	Mineralogía de alteración	Tipo de alteración
DDH13-IR-12	M1	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Hm, Qz	Clorítica
DDH13-IR-12	M2	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica, Silícea
DDH13-IR-12	M4	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH13-IR-12	M6	Cpy, Py, Mag	Chl, K-sil	Clorítica, Potásica
DDH14-IR-56	M2	Py, Mag	Chl, Cal, Ep, Hm, K-sil	Potásica, Clorita-epidota
DDH14-IR-56	M6	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Hm, Qz	Clorítica, Silícea
DDH14-IR-56	M8	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Hm, Kfs, Qz	Silícea
DDH14-IR-56	M13	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH14-MC-16	M1	Cpy, Py, Mag	Amp, Chl, Cal, Ep, Kfs, Qz	Clorita-epidota
DDH14-MC-16	M2	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Silícea, Clorítica
DDH14-MC-16	M7	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH14-MC-16	M11	Cpy, Mag	Amp, Chl, Ep, Kfs, Qz	Potásica, Clorita-epidota
DDH14-MC-16	M25	Cpy, Py, Mag	Chl, Ep, Kfs, Qz	Potásica, Clorita-epidota
DDH14-MC-18	M4	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH14-MC-18	M5	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Kfs, Qz	Silícea
DDH14-MC-18	M15	Cpy, Py	Bt, Chl, Cal, Ep, Qz	Epidota, Silícea
DDH14-MC-18	M17	Cpy, Py, Mag	Cal, Ep, Qz	Epidota
DDH15-IR-51	M5	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Hm, Qz	Clorítica
DDH15-IR-51	M6	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH17-GR-03	M7	Cpy, Py, Mag	Amp, Chl, Ep, Kfs, Qz	Silícea, Potásica
DDH17-GR-03	M8	Cpy, Py, Mag	Chl, Ep, Kfs, Qz	Silícea, Potásica
DDH17-GR-03	M17	Cpy, Py, Mag	Act, Chl, Ep, Kfs, Qz	Epidota
DDH17-GR-03	M20	Cpy, Py, Mag	Act, Chl, Ep, Kfs	Potásica, epidota
DDH17-GR-03	M33	Cpy, Py, Mag	Amp, Chl, Ep, Kfs, Qz	Potásica, Clorítica
DDH17-GR-03	M36	Cpy, Py, Mag	Act, Anh, Chl, Ep, Kfs, Qz	Actinolita
DDH17-MC-18	M5	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Ep, Qz	Clorita-epidota
DDH17-MC-18	M8	Cpy, Py, Mag	Chl, Ep, Kfs, Qz	Epidota-Clorita
DDH17-MC-18	M13	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Ep, Qz	Epidota-Clorita
DDH18-GR-17	M9	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Ep, Kfs, Qz	Potásica, Clorita-epidota
DDH18-GR-17	M10	Cpy, Py, Po	Chl, Ep, Kfs, Qz	Clorita-epidota
DDH18-GR-17	M14	Cpy, Py, Mag	Act, Chl, Cal, Ep, Qz	Epidota-Clorita
DDH18-GR-17	M22	Cpy, Py, Mag	Chl, Ep, Kfs, Qz	Potásica, Clorita-epidota
DDH18-GR-17	M28	Cpy, Py, Mag	Act, Chl, Ep, Qz	Silícea, Clorítica
DDH18-GR-17	M31	Cpy, Py, Mag	Amp, Chl, Ep, Kfs, Qz	Potásica, Clorita-epidota
DDH18-GR-17	M32	Cpy, Py, Mag	Ep, Kfs, Qz	Epidota, Potásica
DDH18-TN-20	M3	Cpy, Py, Mag	Cal, Kfs, Qz	Silícea
DDH18-TN-20	M4	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH18-TN-20	M5	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica
DDH18-TN-20	M12	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica, Silícea
DDH18-TN-20	M15	Cpy, Py, Mag	Chl, Qz	Clorítica, Silícea
DDH18-TN-20	M21	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Silícea, Clorítica
DDH18-TN-20	M22	Cpy, Py, Mag	Chl, Cal, Qz	Clorítica

4.3 Cronología de eventos hidrotermales

4.3.1 Mina Punta del Cobre

A continuación, se describen cronológicamente los eventos de alteración-mineralización registrados en mina Punta del Cobre:

1. El evento más temprano registrado en esta mina corresponde a muestras con restos de roca de caja, posteriormente esta roca es alterada de manera diseminada por feldespatos potásico y feldespatos potásico-sílice (K-sil) que a su vez es cortada por vetas de clorita-magnetita-pirita-calcopirita (Figura 4.20a).

2. La alteración de clorita es pervasiva y de tipo férrica y magnesiana y es cortada por vetillas de pirita que a su vez son cortadas por vetas compuestas de hematita especular-calcita-calcopirita y trazas de pirita (Figura 4.20b) y vetas de hematita-pirita-calcopirita que a su vez son cortadas por vetas de calcita-cuarzo (Figura 4.20c).

3. Además, la roca fue brechizada por un pulso de magnetita que obliteró gran parte de las alteraciones preexistentes que a su vez la cortan vetas de calcita-calcopirita con halo de clorita que a su vez es desplazada por una veta de calcita estéril (Figura 4.20d).

4. Luego se registran stockworks de mushketovita-calcita y stockworks de mushketovita-pirita-calcopirita que cortan a la alteración pervasiva de clorita (Figura 4.20e).

5. Finalmente se registran vetas tardías de calcita-jarosita cortando a magnetita masiva (Figura 4.20f).

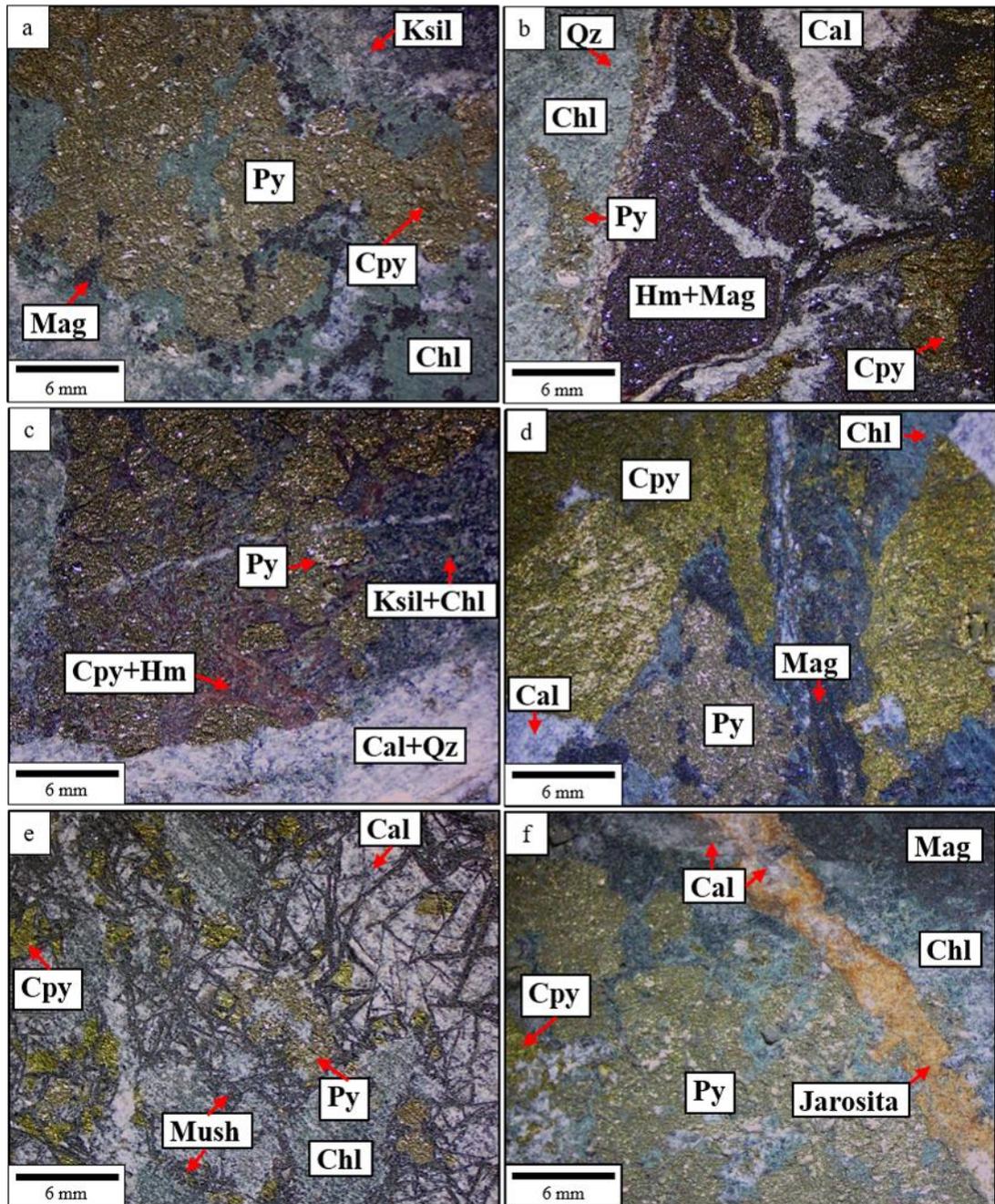


Figura 4.20: Fotografías tomadas en lupa binocular, que muestran la cronología relativa de los distintos eventos de alteración y mineralización en mina Punta del Cobre. (a) Roca obliterada por alteración de K-sil y cortada por veta de clorita-magnetita-pirita-calcopirita. (b) Se observa calcopirita asociada a veta de hematita especular-magnetita-calcita que cortan a alteración de clorita cortada a su vez por cristales de pirita en vetillas. (c) Se observa zona de alteración de K-sil y clorita cortado por veta de hematita-calcopirita-pirita que a su vez es cortada por vetillas de calcita y cuarzo secundario. (d) Se observa veta de calcopirita-calcita con halo de clorita la cual está siendo cortada y desplazada por una vetilla de magnetita y calcopirita. (e) Stockwork de mushketovita-calcita-pirita y calcopirita cortando a clorita masiva. (f) Roca alterada por clorita y brechizada por magnetita-calcopirita y pirita que están siendo cortadas por una veta de calcita y jarosita.

4.3.2 Mina Mantos de Cobre

A continuación, se describen cronológicamente los eventos de alteración-mineralización registrados en mina Mantos de Cobre:

1. Se registran muestras de roca de caja alterada a feldespato potásico que está siendo cortada por una veta de pirita-calcopirita con halo de clorita además de parches de epidota-pirita cortando al feldespato potásico (Figura 4.21a).

2. Posteriormente ocurre un evento de brecha hidrotermal de magnetita que es cortada por vetas de clorita-feldespato potásico-pirita-calcopirita (Figura 4.21b).

3. Además, ocurren stockworks de cuarzo secundario-pirita-calcita que brechizan a la magnetita masiva. (Figura 4.21c).

4. Luego se registran vetas de pirita-calcopirita-calcita (Figura 4.21d); vetas de epidota-calcita-pirita-calcopirita y biotita cloritizada (Figura 4.21e).

5. Por último vetas de calcopirita-calcita que cortan a la brecha hidrotermal de magnetita-clorita-pirita-calcopirita (Figura 4.21f).

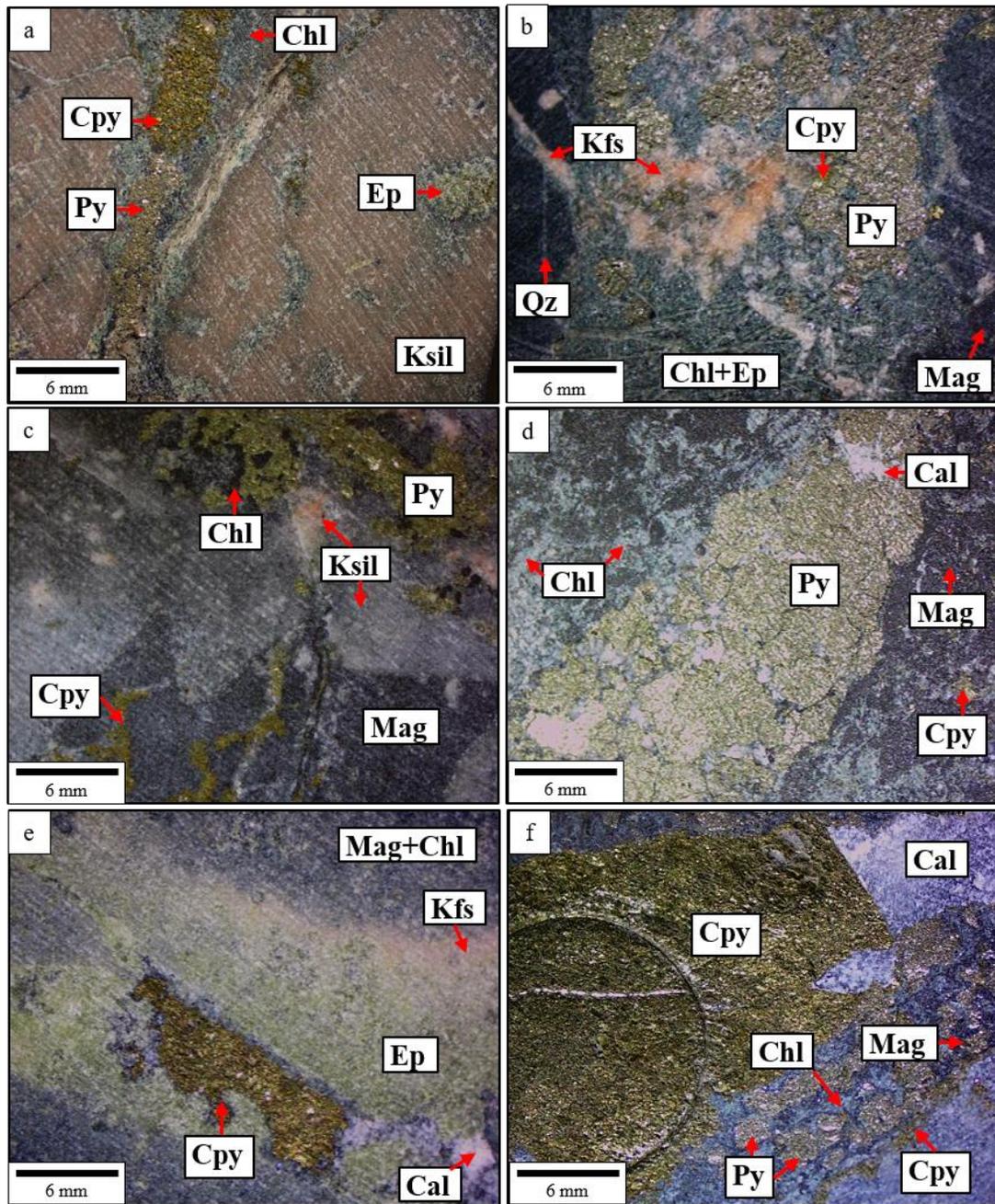


Figura 4.21: Fotografías tomadas en lupa binocular que respaldan la cronología relativa de los distintos eventos de alteración y mineralización en mina Mantos de Cobre. (a) Se observa alteración potásica pervasiva cortada por vetas de clorita-calcopirita-pirita y parches de epidota-pirita. (b) Se observa mineralización en vetas de cristales de pirita y en menor medida calcopirita diseminada dentro de una veta de clorita cortada por una vetilla de feldespato potásico. (c) Se observa K-sil-clorita-pirita y calcopirita brechizando a magnetita masiva. (d) Brecha hidrotermal de magnetita-calcopirita y clorita cortada por veta de calcita y pirita. (e) Se observa veta de epidota-calcopirita-calcita y trazas de pirita que corta a brecha de magnetita-clorita. (f) Se observa veta de calcopirita-calcita cortando a brecha de magnetita-calcopirita-pirita y clorita.

4.3.3 Mina Granate

A continuación, se describen cronológicamente los eventos de alteración-mineralización registrados en mina Granate:

1. Vetas de calcopirita-pirita-magnetita-anfíboles cortando a alteración de feldespato potásico-epidota-clorita (Figura 4.22a) y vetas de pirita-calcopirita-magnetita-clorita-epidota-actinolita que cortan a feldespato potásico (Figura 4.22b).

2. Vetas de feldespato potásico-calcopirita y pirita que cortan a roca con bandas blancas de K-sil y bandas oscuras de piroxenos (Figura 4.22c).

3. Posteriormente se observa alteración temprana de K-sil cortado por vetas de calcopirita y trazas de pirita con halo de piroxenos (Figura 4.22d).

4. Le sigue una alteración de epidota masiva que es cortada por vetas de pirita-pirrotina-calcopirita-clorita y actinolita (Figura 4.22e).

5. Por último, se observan vetas de anhidrita que cortan a la brecha de magnetita-clorita-epidota, a su vez la veta y la roca son cortadas por pirita diseminada (Figura 4.22f).

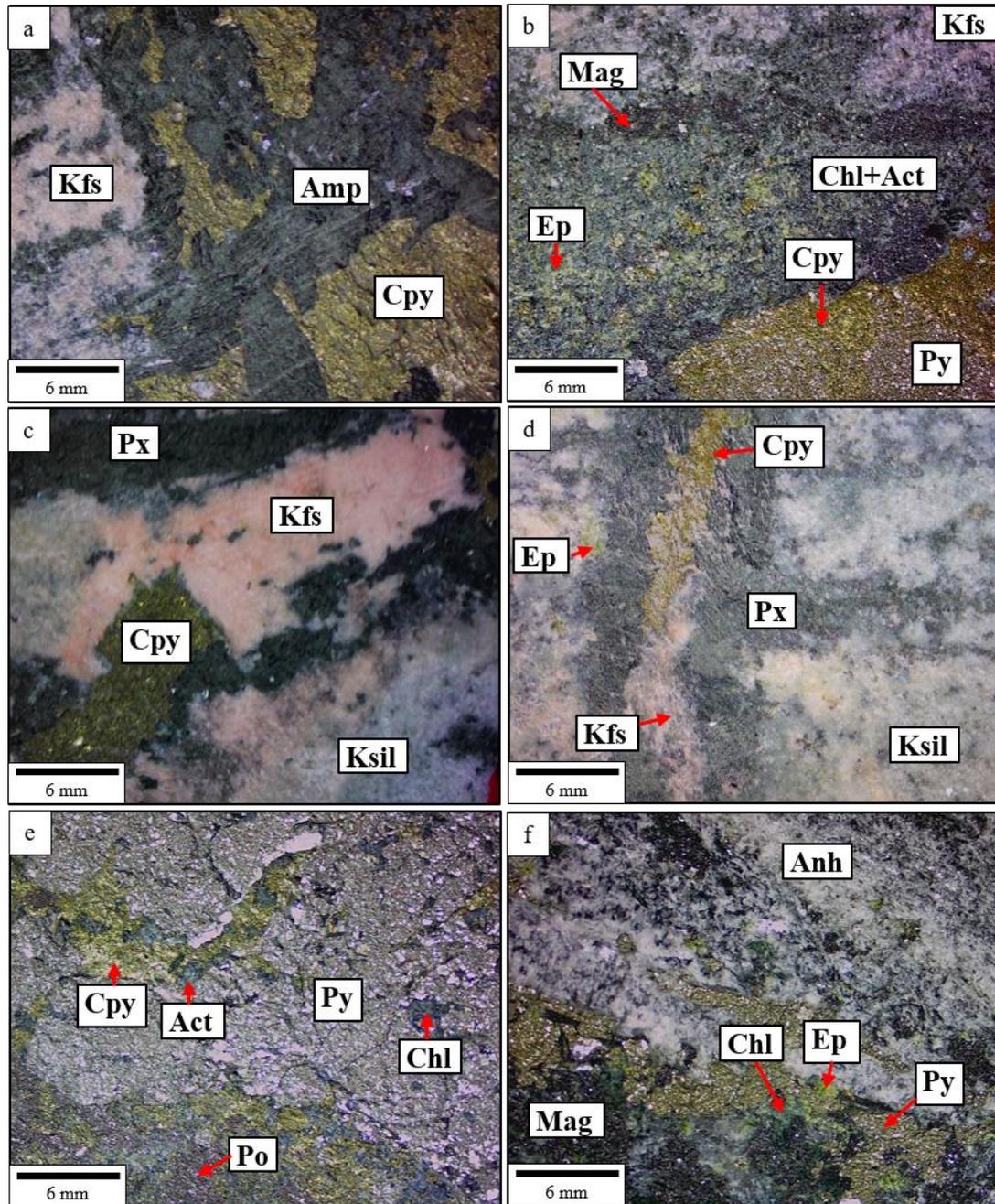


Figura 4.22: Fotografías tomadas en lupa binocular que evidencian la cronología relativa de los distintos eventos de alteración y mineralización en mina Granate. (a) Ensamblaje de alteración pervasiva de feldespato potásico-epidota-clorita el cual es cortado por una veta de anfíboles secundarios y mineralización de calcopirita. (b) Roca alterada a feldespato potásico cortada por veta de clorita-epidota-actinolita y mineralizada de pirita-calcopirita. (c) Se observa bandeamiento de bandas claras de K-sil y bandas oscuras de piroxenos cortadas por una posterior veta de feldespato potásico y calcopirita-pirita. (d) Se observa muestra alterada a K-sil y cortada por veta de pirita-calcopirita con halo de piroxeno. (e) Se observa veta de pirita-calcopirita-pirrotina-clorita y actinolita cortando a epidota. (f) Se observa roca alterada por clorita-epidota-magnetita cortada por veta de anhidrita, posteriormente la alteración y la veta son cortadas por vetillas de pirita.

4.3.4 Cronología general a nivel distrital

En términos generales y considerando las relaciones de corte relativo entre las diferentes estructuras de alteración-mineralización, es posible proponer una secuencia cronológica relativa para los eventos descritos en el distrito Punta del Cobre (Figura 4.23):



Figura 4.23: Esquema de la cronología relativa a nivel distrital de los eventos de mineralización y alteración inferidos a partir de las relaciones de corte observadas.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1 Secuencia paragenética

Por medio de las relaciones de corte y las texturas observadas mediante los estudios petrocalcográficos es posible establecer una sucesión tentativa de eventos hidrotermales sobreimpuestos para la mineralización y alteración de cada depósito.

En general en mina Punta del Cobre se observa una zonación en el modo de ocurrencia de las mineralizaciones y alteraciones, en la parte profunda del sistema ocurre roca de caja alterada a feldespato potásico, lo cual indicaría la acción de fluidos alcalinos ricos en potasio, con temperaturas en el rango de los 450-600°C (Lowell y Guilbert, 1970). Esta zona es cortada por magnetita masiva como matriz de brecha hidrotermal, lo cual indicaría un evento posterior de ruptura hidráulica, asociada a fluidos ricos en Fe y con alta fugacidad de oxígeno (Beane y Bodnar, 1995).

En las partes intermedias del sistema se presenta la principal mineralización de sulfuros, donde la pirita se forma en ambientes pobres de oxígeno, pero ricos en Fe a través de la sulfuración de magnetita en presencia de fluidos que contienen azufre y cuya ocurrencia en ambientes hidrotermales toma lugar en bajas y altas temperaturas (Knipping et al. 2015). Por otra parte, la mineralización de calcopirita indica una formación en procesos hidrotermales a temperaturas entre 200 y 400°C de precipitación (Landtwing et al., 2005). La calcopirita proviene de fluidos enriquecidos con Fe^{2+} y Cu^{+} , los cuales se liberaron durante la hidrólisis (Seedorff et al., 2005). Estos sulfuros ocurren diseminados y en vetas cortando a alteración de feldespato potásico.

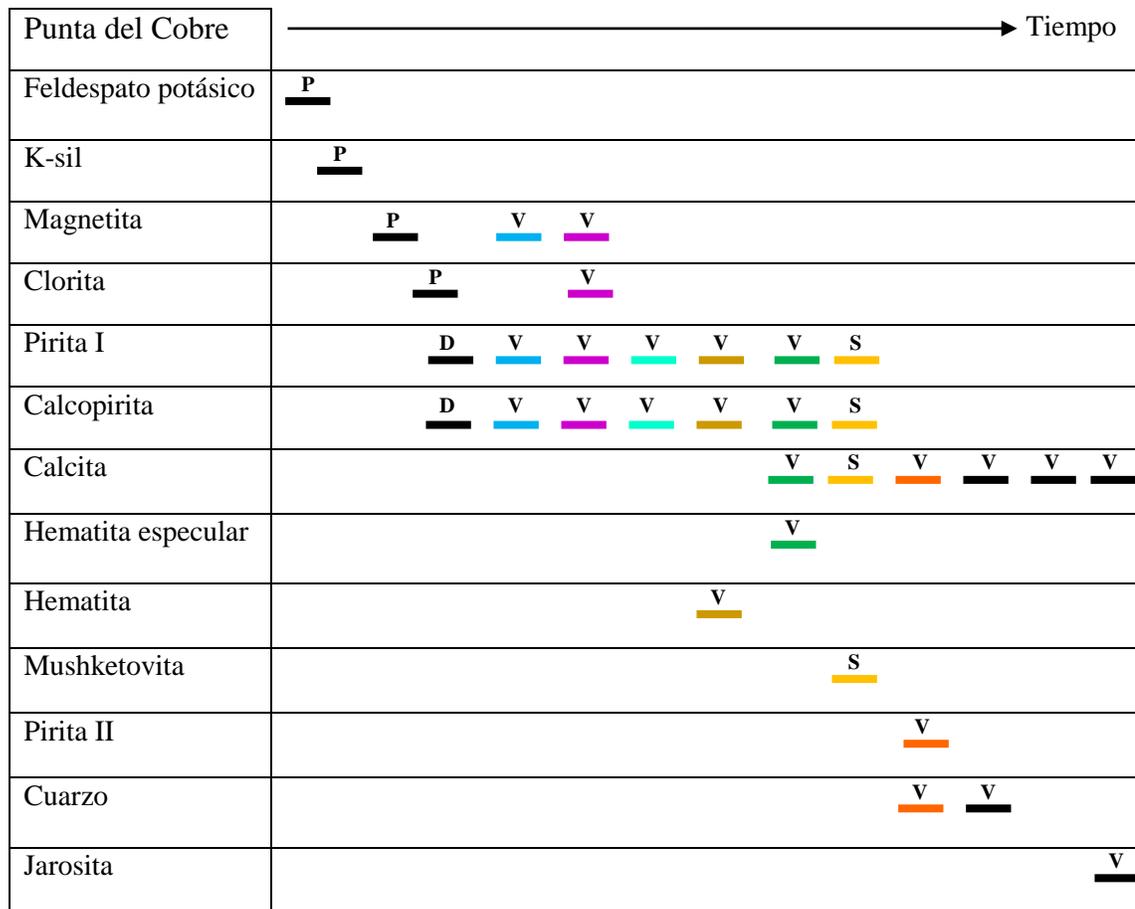
Posteriormente habría ocurrido un enfriamiento del sistema y la formación de la alteración de clorita-epidota a temperaturas de 200-250°C (Lowell y Guilbert, 1970).

En las partes más someras del sistema ocurren vetas de hematita especular-pirita-calcopirita; stockworks de pirita-calcopirita-mushketovita y calcita; vetas de calcita-pirita-calcopirita; stockworks de cuarzo secundario-pirita-calcopirita; vetas estériles de calcita, vetas de hematita-calcita y vetas de hematita-pirita-calcita que indican un ambiente reductor. La temperatura de precipitación de la asociación hematita-calcita ha sido estimada alrededor de 250°C en depósitos tales como Candelaria (Marshick y Fontboté, 2001).

Finalmente ocurren vetas de jarosita y goetita que indican la oxidación supérgena del sistema (Tabla 5.1).

En particular existen 2 modos de ocurrencia principales de pirita y calcopirita, el primero está acompañando de manera diseminada en la matriz de las brechas de magnetita y el segundo corresponde a una serie de vetas de pirita y calcopirita acompañadas por distintos minerales de alteración y óxidos de hierro.

Tabla 5.1: Secuencia paragenética de eventos mineralizadores y principales alteraciones en mina Punta del Cobre, a partir de observaciones petrográficas y calcográficas (elaboración propia). El grosor de la línea representa aproximadamente la abundancia relativa del mineral en particular, pero no tiene implicancias cuantitativas sobre otras especies minerales. La simbología de colores se correlaciona a la numeración señalada en la Figura 4.23. Abreviatura: D= Diseminado; P= Pervasiva; V= Veta; S= Stockwork.



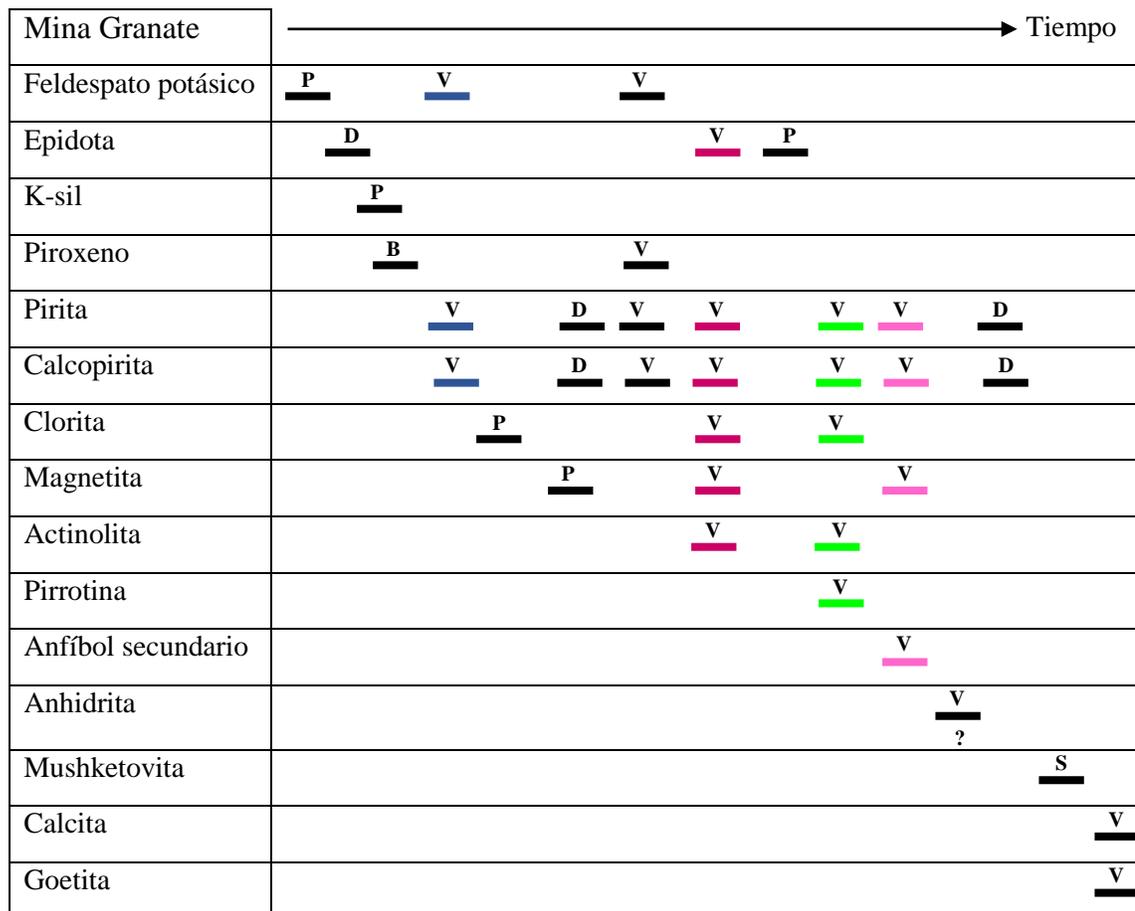
En mina Mantos de Cobre se reconoce mineralización temprana de pirita-calcopirita asociada a feldespato potásico masivo, lo cual corresponde a la parte intermedia del sistema hidrotermal. Posteriormente ocurrió un evento de alteración de clorita y epidota también asociado a mineralización de pirita-calcopirita, en vetas principalmente. Luego ocurre un evento de magnetita pervasiva y clorita donde se deposita pirita y calcopirita de manera diseminada. Más tarde se emplazan una serie de vetas de pirita-calcopirita acompañadas de biotita cloritizada-anfíboles secundario-clorita-epidota y feldespato potásico, además, de stockworks de feldespato potásico-clorita-calcopirita y pirita II. Finalmente se observa en la parte superior del sistema la ocurrencia de vetas de cuarzo-calcita y jarosita que cortan a los ensamblajes mencionados anteriormente (Tabla 5.2).

Tabla 5.2: Secuencia paragenética de eventos mineralizadores y principales alteraciones en mina Mantos de Cobre, a partir de observaciones petrográficas y calcográficas (elaboración propia). El grosor de la línea representa aproximadamente la abundancia relativa del mineral en particular, pero no tiene implicancias cuantitativas sobre otras especies minerales. La simbología de colores se correlaciona a la numeración señalada en la Figura 4.23. Abreviatura: D= Diseminado; P= Pervasiva; V= Veta; S= Stockwork.

Mantos de Cobre	→ Tiempo
Feldespato potásico	P V
K-sil	P S
Epidota	V V V
Clorita	V P V V
Pirita I	V D V S V V V
Calcopirita	V D V S V V V
Magnetita	P V
Cuarzo secundario	D V
Anfíbol secundario	V
Biotita cloritizada	V
Pirita II	S
Calcita	V V V
Goetita	V

En mina Granate se reconoce una roca de caja afectada por feldespatos potásicos pervasivos, clorita-epidota (pistacita) diseminadas, bandas de piroxeno y K-sil. Estas alteraciones son cortadas por vetas de menas sulfuradas de pirita-calcopirita-pirrotina asociadas a la parte intermedia del sistema hidrotermal. Posteriormente ocurre alteración de clorita-magnetita-actinolita férrica en vetas con mineralización de pirita-calcopirita además de vetas de anfíboles secundario magnetita- pirita-calcopirita. Se observa la ocurrencia de vetas de anhidrita que cortan a la brecha de magnetita-pirita-calcopirita, pero debido a su escasa abundancia en las muestras su posición en la secuencia paragenética es incierta. La presencia de anhidrita indica un ambiente reductor desarrollado en la zona hipógena del sistema. Finalmente ocurren pirita-calcopirita-mushketovita diseminados cortados por vetas de calcita (Tabla 5.3).

Tabla 5.3: Secuencia paragenética de eventos mineralizadores y principales alteraciones en mina Granate, a partir de observaciones petrográficas y calcográficas (elaboración propia). El grosor de la línea representa aproximadamente la abundancia relativa del mineral en particular, pero no tiene implicancias cuantitativas sobre otras especies minerales. La simbología de colores se correlaciona a la numeración señalada en la Figura 4.23. Abreviatura: B= Bandas; D= Diseminado; P= Pervasiva; S= Stockwork; V= Veta; ?= Incierta.



Considerando la secuencia paragenética propuesta por Marschik y Fontboté (2001) (Figura 5.1) para el distrito Punta del Cobre, a continuación se detallan las similitudes y diferencias con respecto a los ensamblajes mineralógicos identificados en este estudio.

Según Marschik y Fontboté (2001) en las minas Punta del Cobre y Mantos de Cobre ocurriría albita como la alteración inicial del sistema, la cual sería anterior a la ocurrencia de brecha de magnetita masiva. No obstante, en este estudio no se identificó albita. Por otra parte, estos autores también reconocen un evento de biotización intenso, el cual tampoco fue reconocido en este trabajo. Del mismo modo, a diferencia de estos autores, en esta tesis no se evidenció mineralización de oro asociado a calcopirita, esfalerita ni turmalina.

Adicionalmente en este estudio y a diferencia de Marschik y Fontboté (2001), si se logró identificar en mina Granate piroxenos en vetas asociados a pirita-calcopirita; en mina Punta del Cobre y Granate stockworks de mushketovita-calcita-calcopirita- pirita y vetas de hematita especular-calcita-pirita-calcopirita en mina Punta del Cobre en la parte superior del sistema.

En mina Granate, la cual es relacionada a Candelaria en el estudio de Marschik y Fontboté (2001), se logró determinar la ocurrencia de oro, esfalerita, molibdenita, albita, cordierita, granate rico en almandino, turmalina, grunerita y cummingtonita. Estos minerales no fueron observados en este estudio. En cuanto a la ocurrencia de sulfuros, Marschik y Fontboté (2001) definen un evento de albitización y biotización pervasiva como la primera alteración que ocurre en el sistema, la ocurrencia de oro asociado a calcopirita, además de la ocurrencia localizada de esfalerita en vetas con pirita y calcopirita cortando a anhidrita. Adicionalmente, en este trabajo, a diferencia de estos autores, si se evidenciaron eventos de actinolita férrica, piroxenos, anfíbol cálcico (actinolita) asociados a magnetita y a mineralización de pirita-calcopirita, así como la ocurrencia de mushketovita diseminada y óxidos de hierro en la parte superior del sistema.

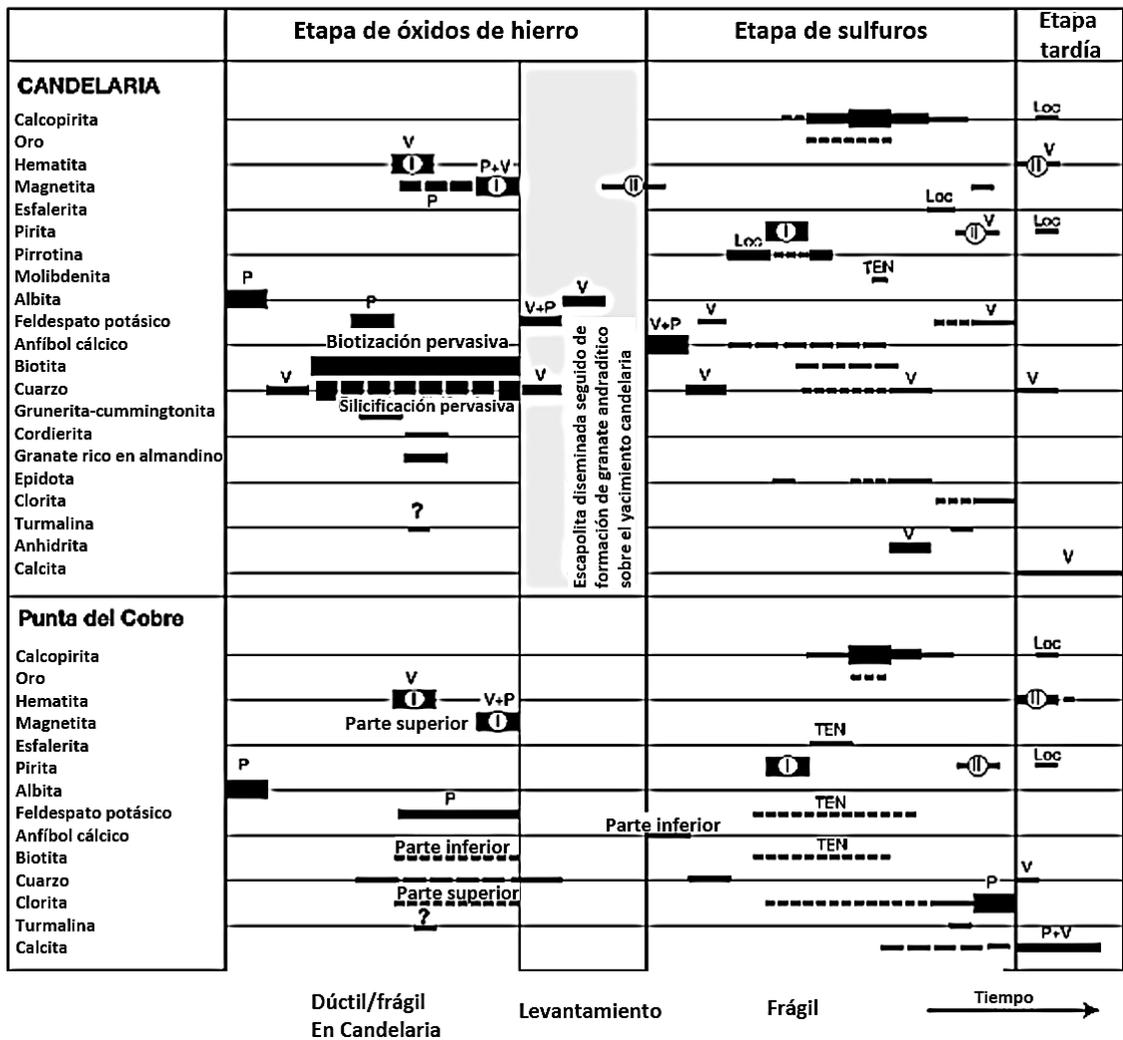


Figura 5.1: Secuencia paragenética de minerales de mena, ganga y alteración en Candelaria y en el distrito Punta del Cobre. Abreviatura: P= Alteración pervasiva; TEN= Tentativo; V= Vetillas; ?= Incierto (Modificado de Marschik & Fontboté, 2001).

Las diferencias mineralógicas observadas en los distintos depósitos, respecto al trabajo de Marschik y Fontboté (2001), podrían estar asociadas a las diferentes localizaciones de los sectores estudiados, ya que estos sistemas hidrotermales están asociados a la sobreimposición de múltiples eventos y la ocurrencia de estos es altamente desde el punto de vista espacial.

Además, la formación de pirita y calcopirita en la alteración potásica, se puede dar a partir de biotitas primarias, que al reaccionar con el azufre disuelto en la solución (que se presenta como ácido sulfhídrico), originan biotitas secundarias y pirita.

Si la misma solución se encuentra sobresaturada en cationes Cu^{+} , a partir de la misma reacción se puede dar origen a calcopirita (Rusk et al., 2008). En el caso de este estudio

las biotitas secundarias fueron observadas de manera escasa ya que la mayor parte se alteró a clorita.

5.2 Depositación de sulfuros de Fe y Fe-Cu en el distrito Punta del Cobre

Cabe destacar que la calcopirita se presenta en la mayoría de los casos reemplazando a la pirita, lo cual es evidenciado a través de texturas de reemplazo, mediante textura de penetración guiada en planos de debilidad, bordes corroídos. Para el caso de pirita I, habría ocurrido una disolución de estos cristales y una posterior precipitación calcopirita además de inclusiones de calcopirita en pirita I lo que sugiere un proceso de exsolución de ambos minerales. Por el contrario, para el caso de la pirita II, los cristales son euhedrales mayormente, lo cual implica que estos mantienen su forma, lo que a su vez sugiere una depositación “pasiva” de calcopirita en textura de bordes mutuos, sin disolución previa de la pirita II, lo que implica una co-precipitación de ambos sulfuros. Finalmente, las texturas revelan que la pirrotina tiende a ser contemporánea a la formación de calcopirita.

Es importante destacar que la ocurrencia de los diferentes ensamblajes de alteración-mineralización en los diferentes tipos de vetas, no refleja necesariamente paragénesis, sino que en muchos casos es posible interpretar que estos minerales fueron depositados a partir de múltiples eventos discretos de circulación de fluidos, los cuales utilizaron los mismos espacios o estructuras, sobreimponiendo diferentes eventos de precipitación para minerales dentro de un mismo volumen de roca.

5.3 Distribución espacial de las alteraciones a escala distrital y de depósito

La temporalidad relativa de las asociaciones minerales en los distintos depósitos en función de relaciones de corte, entrega antecedentes que permiten reconstruir una evolución del sistema hidrotermal. La alteración más temprana estaría asociada a fluidos enriquecidos en calcio y hierro, los cuales habrían depositado magnetita-actinolita en la parte profunda del sistema. Posteriormente, habría ocurrido un evento de fluidos ricos en calcio-hierro-potasio-cobre responsables de la alteración de magnetita-actinolita-biotita-feldespato potásico con mineralización principal de calcopirita-pirita-pirrotina, el cual se evidencia en la zona intermedia de este sistema. Posteriormente en la parte más somera del sistema, es posible observar la sobreimposición de vetas o parches de epidota-clorita

y carbonatos, lo cual implicaría un enfriamiento del sistema, además de hematita especular, la cual estaría asociada a un aumento en la fugacidad de oxígeno del sistema hidrotermal.

Por tanto, sobre la base de la distribución espacial de los diferentes ensamblajes de alteración es posible inferir que mina Punta del Cobre abarca la zona más profunda, intermedia y somera del sistema hidrotermal. En el caso de mantos de Cobre la parte intermedia del sistema es la que ocurre con mayor abundancia y finalmente mina Granate comprende la parte intermedia y superior del sistema hidrotermal del distrito Punta del Cobre.

La síntesis de los eventos minerales determinados en este estudio se encuentran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Resumen de la temporalidad hidrotermal relativa observada de manera general en las muestras del distrito Punta del Cobre.

Mina	Sondaje	Temporalidad hidrotermal relativa
Punta del Cobre	DDH13-IR-12	1) Feldespato potásico 2) Epidota 3) Magnetita 4) Clorita 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Pirita II 8) Anfíbol secundario 9) Hematita especular 10) Mushketovita 11) Cuarzo secundario 12) Calcita 13) Jarosita
	DDH14-IR-56	1) Feldespato potásico 2) Magnetita 3) Clorita 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Hematita Especular 7) Mushketovita 8) Pirita II 9) Cuarzo secundario 10) Calcita 11) Óxidos de hierro
	DDH15-IR-51	1) Magnetita 2) Pirita I 3) Calcopirita 4) Clorita 5) Pirita II 6) Cuarzo secundario 7) Calcita
	DDH18-TN-20	1) Feldespato potásico 2) K-sil 3) Magnetita 4) Clorita 5) Pirita 6) Calcopirita 7) Mushketovita 8) Calcita
Mantos de Cobre	DDH14-MC-16	1) Feldespato potásico 2) Magnetita 3) Piroxeno 4) Epidota 5) Clorita 6) Pirita I 7) Calcopirita 8) Anfíbol 9) Cuarzo secundario 10) Calcita
	DDH14-MC-18	1) Epidota 2) Clorita 3) Magnetita 4) Piroxeno 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Pirita II 8) Cuarzo secundario 9) Calcita
	DDH17-MC-18	1) Feldespato potásico 2) Epidota 3) Clorita 4) Piroxeno 5) Magnetita 6) Cuarzo secundario 7) Pirita 8) Calcopirita 9) Calcita
Granate	DDH17-GR-03	1) Feldespato potásico 2) Clorita 3) Epidota 4) Piroxeno 5) Magnetita 6) Anfíbol 7) Actinolita 8) Pirita 9) Calcopirita 10) Cuarzo secundario 11) Anfíboles secundarios 12) Anhidrita
	DDH18-GR-17	1) Feldespato potásico 2) K-sil 3) Piroxeno 4) Magnetita 5) Pirita 6) Clorita 7) Epidota 8) Actinolita 9) Pirrotina 10) Calcopirita 11) Mushketovita 12) Anfíbol 13) Calcita 14) Vetas de cuarzo 15) Goetita y Jarosita

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen las conclusiones principales obtenidas en esta investigación: Se han registrado 16 eventos principales de mineralización de sulfuros en el distrito Punta del Cobre, los cuales corresponden a: (1) Brecha hidrotermal de magnetita enriquecida en pirita-calcopirita. Vetas de: (2) Pirita-calcopirita (3) Feldespato potásico pirita-calcopirita (4) Pirita-calcopirita y halo de piroxenos (5) Pirita-calcopirita y anfíboles secundarios (6) Clorita-pirita-calcopirita y halo de feldespato potásico (7) Pirita-calcopirita-clorita-epidota-magnetita (8) Parches de epidota-pirita. Vetas de: (9) Pirita-calcopirita-calcita-epidota-calcita (10) Hematita especular-pirita-calcopirita-calcita (11) Pirita-calcopirita-pirrotina-clorita y actinolita (12) Hematita-pirita-calcopirita (13) Epidota-clorita-magnetita-actinolita-pirita-calcopirita (14) Stockwork de mushketovita-pirita-calcopirita-calcita (15) Stockwork de cuarzo secundario-pirita-calcopirita y (16) Vetas de pirita-calcopirita-calcita.

Los eventos descritos indican una zonación hidrotermal en el distrito y evidencian una disminución progresiva de la temperatura. Las condiciones de alta temperatura, estarían asociadas a feldespato potásico y actinolita (~450°C). Luego la depositación de pirita-calcopirita a temperaturas moderadas (200-400°C) y a menor temperatura (200-250°C) se forman minerales como epidota, clorita, carbonatos y hacia la superficie se encuentra una zona de alteración de hematita-carbonatos-clorita-cuarzo y en superficie zonas masivas de sulfatos-hidróxidos de hierro (jarosita-goetita).

La pirita I exhibe formas anhedrales a subhedrales, en cambio la calcopirita se presenta de forma anhedral; estas características texturales nos revelan que la pirita se formó antes que la calcopirita, pues sus caras cristalinas, indican que tuvo mayor tiempo para su cristalización. En cambio, la pirita II se presenta de manera subhedral a euhedral lo cual implica que la calcopirita creció de manera “pasiva” en sus bordes.

En general la alteración dominante que afecta a la roca caja en el distrito es clorítica, la cual afecta a minerales ferromagnesianos (piroxeno, anfíbol). La escasa biotita secundaria presente se debe a que la mayor parte está alterada a clorita.

Para complementar la clasificación de eventos según relaciones de corte, se recomienda realizar estudios composicionales de pirita y calcopirita para los distintos depósitos mediante SEM-EDS y QEMSCAN.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, C. (1994). Mapa Geológico del cuadrángulo Los Loros. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documentos de Trabajo, No. 6, mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Arévalo, C. (1995). Mapa Geológico de la Hoja Copiapó, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documentos de trabajo, (8), 1.
- Arévalo, C. (2005). Carta Copiapó, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 91, 53 pp., 1 mapa escala 1:100.000.
- 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. (2000) Alternative brine sources for Fe oxide-(Cu-Au) systems: implications for hydrothermal alteration and metals En: Porter T.M. (ed) *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & related deposits: A Global Perspective*, 43-60. Australian Mineral Foundation, Adelaide, p. 43-60.
- Barton, M. D. (2013). Iron oxide (-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) systems. In *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (pp. 515-541). Elsevier Inc..
- Barton, M. D. 2014. Iron oxide (-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) systems. *Treatise on Geochemistry* (second edition, volume 13): Amsterdam, Elsevier: 515-541.
- Boric, R., Díaz, F., Maksaev, J., 1990. Geología y yacimientos metalíferos de la región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería-Chile. Boletín No. 40, 246p.
- Camus, F. (1980). Posible modelo genético para los yacimientos de cobre del distrito minero Punta del Cobre. *Revista Geológica de Chile*, No 11, pp. 51-76.
- Chen, C., Zhang, Z., Guo, Z., Li, J., Feng, Z., & Tang, W. (2012). Geochronology, geochemistry, and its geological significance of the Permian Mandala mafic rocks in Damaoqi, Inner Mongolia. *Science China Earth Sciences*, 55(1), 39-52.
- Chiaradia, M., Banks, D., Cliff, R., Marschik, R., & De Haller, A. (2006). Origin of fluids in iron oxide-copper-gold deposits: constraints from $\delta^{37}\text{Cl}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and Cl/Br . *Mineralium Deposita*, 41(6), 565-573.
- Corbett, G.J., Leach, T.M. (1998). Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization: Special Publication 6, Society of Economic Geologists, 238p.
- Corriveau, L., Montreuil, J. F., & Potter, E. G. (2016). Alteration facies linkages among iron oxide copper-gold, iron oxide-apatite, and affiliated deposits in the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada. *Economic Geology*, 111(8), 2045-2072.
- Corvalán, J. (1974). Estratigrafía del Neocomiano marino de la región al sur de Copiapó, Provincia de Atacama. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 1, 13-16 pp.

- Del Real, I., Thompson, J. F., & Carriedo, J. (2017). Structural and geological controls on the Iron Oxide Copper Gold mineralization in the Candelaria–Punta del Cobre district, Atacama region, Chile.
- Del Real, I., Thompson, J. F., & Carriedo, J. (2018). Lithological and structural controls on the genesis of the Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Copper Gold district, Northern Chile. *Ore Geology Reviews*, 102, 106-153.
- Del Real, I., Thompson, J. F. H., Simon, A. C., & Reich, M. (2020). Geochemical and isotopic signature of pyrite as a proxy for fluid source and evolution in the Candelaria-Punta del Cobre iron oxide copper-gold district, Chile. *Economic Geology*, 115(7), 1493-1518.
- Espinoza, S. (1990). The Atacama-Coquimbo Ferriferous Belt, Northern Chile. En *Stratabound ore deposits in the Andes*. Springer Berlin Heidelberg: 353-364.
- Foose, M. P., & McLelland, J. M. (1995). Proterozoic low-Ti iron-oxide deposits in New York and New Jersey: Relation to Fe-oxide (Cu–U–Au–rare earth element) deposits and tectonic implications. *Geology*, 23(7), 665-668.
- Frietsch, R. (1978). On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type. *Economic Geology*, 73(4), 478-485.
- Geijer, P., (1910), *Igneous rocks and iron ores of Kiirunavaara, Luossavaara nd Tuolluvaara: S tockholm, S cientifica nd Practical Researches in Lapland Arranged by Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag*, 278 p.
- Hildebrand, R. S. (1986). “Kiruna-type deposits: their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, northwest Canada.” *Economic Geology* 81(3): 640–59.
- 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, p. 241-287.
- Hoffstetter, R., Fuenzalida, H., Cecioni, G., & Biese, W. (1957). *Chile: Chili*. Centre National de la Recherche Scientifique.
- Knipping, J.L.; Bilenker, L.D.; Simon, A.C.; Reich, M.; Barra, F.; Deditius, A.P.; Lundstrom, C.; Bindeman, I.; Munizaga, R. 2015. Giant Kiruna-type deposits form by efficient flotation of magmatic magnetite suspensions. *Geology*
- Landtwing, M. R., Pettke, T., Halter, W. E., Heinrich, C. A., Redmond, P. B., Einaudi, M. T., & Kunze, K. (2005). Copper deposition during quartz dissolution by cooling magmatic–hydrothermal fluids: the Bingham porphyry. *Earth and Planetary Science Letters*, 235(1-2), 229-243.
- Lowell, J. D., and Guilbert, J. M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits: *Economic Geology*, v. 65, p. 373-408.
- Maksaev, V., (2001). *Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis andina*. Universidad de Chile.

- Maksaev, Victor, Brian Townley, Carlos Palacios, y Francisco Camus. (2007) Metallic ore deposits. En *Geology of Chile*, editado por Teresa Moreno y Wes Gibbons, 179-1999. Londres: The Geological Society,
- Mark, G. & Foster, D.R.W. (2000). Magmatic-hydrothermal albite-actinolite-apatite-rich rocks from the Cloncurry district, NW Queensland, Australia. *Lithos*, 51, p. 223-245.
- Marschik, R., Chiaradia, M., & Fontboté, L. (2003). Implications of Pb isotope signatures of rocks and iron oxide Cu-Au ores in the Candelaria-Punta del Cobre district, Chile. *Mineralium Deposita*, 38(7), 900-912.
- Marschik R, Chiaradia M, Fontbote L (1997) Intrusion-related Cu(-Fe)-Au mineralization in the Punta del Cobre belt, Chile: lead and sulfur isotopic constraints: Balkema, Rotterdam
- Marschik, R., & Fontboté, L. (1996). Copper (-iron) mineralization and superposition of alteration events at the Punta del Cobre belt, northern Chile. *Special Publication of the Society of Economic Geologists*, 171-189.
- Marschik, R., & Fontboté, L. (2001a). The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology*, 96(8), 1799-1826.
- Marschik, R., Fontbote, L. (2001b). The Punta del Cobre Formation, Punta del Cobre-Candelaria area, northern Chile. *J. S. Am. Earth Sci.* 14, 401–433.
- Marschik, R., Singer, B. S., Munizaga, F., Tassinari, C., Moritz, R., & Fontboté, L. (1997). Age of Cu (-Fe)-Au mineralization and thermal evolution of the Punta del Cobre district, Chile. *Mineralium Deposita*, 32(6), 531-546.
- Mpodozis, C., Allmendinger, R.W. (1993). Extensional tectonics, Cretaceous Andes, northern Chile (27°S). *Geological Society Am Bull.* No 105, 1462 – 1477 pp.
- Naslund, H. R., et al. (2002). Magmatic iron ores and associated mineralization: Examples from the Chilean High Andes and Coastal Cordillera. *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective 2*: 207-226.
- Nystrom, J. O., y F. Henriquez. (1994). “Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry”. *Economic Geology* 89(4): 820–39. Park, F. 1961. “A magnetite ‘flow’ in northern Chile”. 56: 431–36. OSSSES, Leonidas. 2017. El cobalto en el mundo y en Chile.
- Oyarzun, R., Rodriguez, M., Pincheira, M., Doblas, M., & Helle, S. (1999). The Candelaria (Cu-Fe-Au) and Punta del Cobre (Cu-Fe) deposits (Copiapó, Chile): a case for extension-related granitoid emplacement and mineralization processes? *Mineralium Deposita*, 34(8), 799-801.
- Oyarzún, J. (2007). El Modelo IOCG y el Potencial de Exploración Cuprífera de la Cordillera de la Costa del Norte de Chile.
- Oyarzún, J., & Oyarzún, R. (2009). *Léxico de geología económica*. Universidad de la Serena Chile.

Palma, G., Barra, F., Valencia, V., Reich, M. (2015). Química mineral de apatitos en Depósitos Tipo Magnetita-Apatito (Kiruna), Norte de Chile. XIV Congreso Geológico Chileno, Vol 1, pág 386-389, La Serena, Chile.

Pincheira, M. (1981). “Geología de la mitad oriental del cuadrángulo Astillas. Nuevos antecedentes de la franja Ferrífera principal entre los 28°15' y 28°30' latitud sur. Chile”.

Pollard, P.J. (2000). Evidence for magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization. En: Porter, T.M. (ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & related deposits: A Global Perspective, Australian Mineral Foundation, Adelaide, p. 27-41.

Pollard, Peter J. (2001). Sodic (–calcic) alteration in Fe-oxide–Cu–Au districts: an origin via unmixing of magmatic H₂O–CO₂–NaCl±CaCl₂–KCl fluids. *Mineralium Deposita* 36(1): 93-100.

Pop, N., Heaman, L., Eledstein, O., Isache, C., Zentilli, M., Pecskey, Z., Valdman, S., Rusu, C. (2000). Geocronología de las rocas ígneas y los productos de alteración hidrotermal relacionados con la mineralización de Cu-Fe(Au) del Sector Adriana – Carola – Cobriza (Parte Este del Distrito Punta del Cobre – Candelaria), en base a dataciones U-Pb (En circón), ⁴⁰Ar/³⁹Ar y K-Ar. IX Congreso Geológico Chileno V.2, pp. 155-160.

Reich, M.; Knipping, J.; Simon, A.; Barra, F.; Bilenker, L.; Munizaga, R. 2015. Massive Iron Oxide-Apatite (IOA) Deposit Formation by Efficient Flotation of Magmatic Magnetite Suspensions: A Genetic Link Between IOA and IOCG Deposits? In XIV Congreso Geológico Chileno, Actas. La Serena.

Richards, J. P., & Mumin, A. H. (2013). Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu±Mo±Au deposits. *Geology*, 41(7), 767-770.

Ridley, J. (2013). *Ore Deposit Geology*. Cambridge University Press.

Rusk, B., Reed, M.H., and Dilles, J.H., (2008). Fluid Inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit, Butte, Montana: *Economic Geology*, 103, p. 307-334.

Ryan, P.J., Lawrence, A.L., Jenkins, R.A., Matthews, J.P., Zamora, J.C., Marino, E., Urqueta, I. (1995). The Candelaria copper-gold deposit. Porphyry copper deposits of the American cordillera. *Arizona Geological Society Digest* 20, 625-645.

Seedorff, E., Dilles, J., Proffett, J., Einaudi, M., Zurcher, L., Stavast, W., Johnson, D., Barton, M. (2005). Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 251–298.

Segerstrom, K. (1968). Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado, provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile. No 24, 58 p., 1 mapa escala 1:250.000.

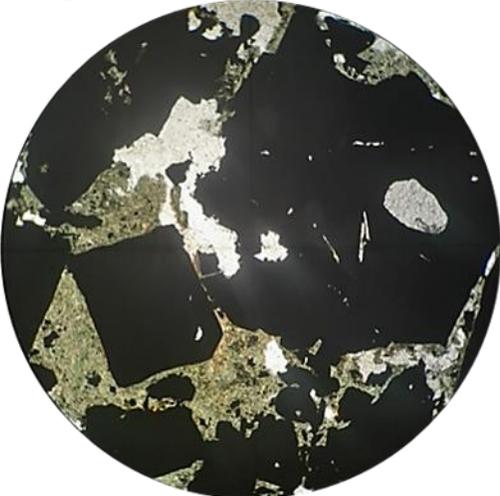
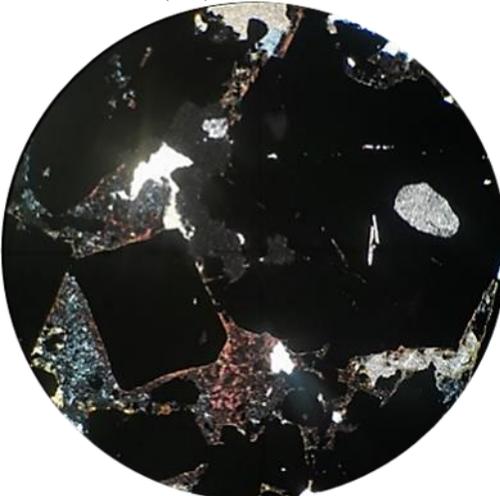
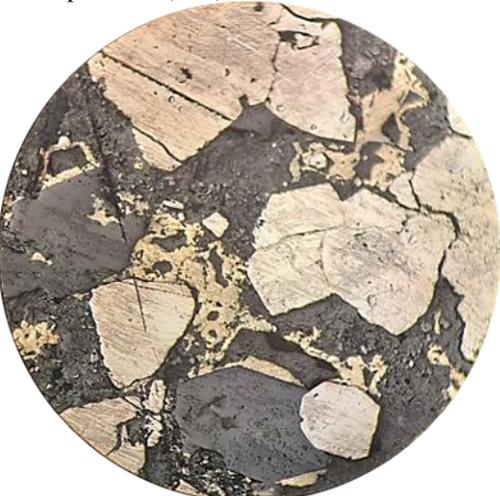
Segerstrom, K., & Parker, R. L. (1959). Cuadrángulo Cerrillos: Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta de Chile, Vol. 1, No 2, 33p. 1 mapa escala 1:50.000.

- Segerstrom, K. & Ruiz, C. (1960). Cuadrángulo Quebrada Paipote, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile. Vol 2, No 1, 55p. 1 mapa escala 1:50.00
- Segerstrom, K., & Ruiz, C. (1962). Geología del Cuadrángulo Copiapó, Provincia de Atacama. Carta Geológica de Chile, (3).
- Sillitoe, R. H. (2003). Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*, 38(7), 787-812.
- Solís, I. (2022). Cristaloquímica de sulfuros de fierro y fierro-cobre en el Distrito Punta del Cobre: Implicancias para el control mineralógico del cobalto y otros elementos estratégicos. Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Geólogo, Universidad de Atacama, Copiapó - Chile, 72p.
- Treloar, P.; Colley, H.; (1993). Magnetite – Apatite ores in the Atacama Fault Zone, El Salvador Region, Chile. *Symposium International Geodynamique Andine*, 2nd: 487 – 490. Oxford.
- Treloar, P. J., & Colley, H. (1996). Variations in F and Cl contents in apatites from magnetite—apatite ores in northern Chile, and their ore-genetic implications. *Mineralogical Magazine*, 60(399), 285-301.
- Tornos, F., Casquet, C. & Relvas, J. (2005). Transpressional tectonics, lower crust decoupling and intrusion of deep mafic sills: A model for the unusual metallogensis of SW Iberia. *Ore Geology Reviews*, 27, p. 133-163.
- Tornos, F., Carriedo, J., Velasco, F., Tomé, C. (2008). S. La génesis de los depósitos de tipo IOCG: geología y geoquímica de mineralizaciones en los Andes e Iberia.
- Townley, B., Díaz, A., & Luca, R. (2017). Potencial de Exploración y Explotación de Recursos Minerales de Cobalto en Chile.
- Townley, B., Díaz, A., & Luca, R. (2018). Estado del arte y potenciales recursos CO y MN en Chile.
- Vivallo, W. (2009). Yacimientos de óxido de Hierro-Cobre-Oro en Chile. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago.
- Vivallo, W.; Díaz, A., Jorquera, R. 2008. Yacimientos metalíferos de la Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie recursos Minerales y Energético, No27, 72 p.
- Vivallo, W.; Henríquez, F. (1997). Relación genética entre los yacimientos estratoligados de Cu ('Tipo Manto'), de Cu-Fe±Au y de hierro del tipo Kiruna. En Congreso Geológico Chileno. 1189-1193.
- Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontboté, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver N & Marschik, R. (2005). Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology*, 371-405.

ANEXO I

Estudio petrográfico: A continuación, se muestran 42 fichas descriptivas elaboradas para cada muestra utilizada en este estudio.

Sondaje	DDH13-IR-12	Muestra	M1
Observaciones macroscópicas			
No es posible reconocer la roca de caja debido a que se encuentra percolada de manera masiva por magnetita, posteriormente ocurre un evento de alteración media a intensa de clorita. Luego ocurre una veta de calcita mineralizada con pirita y calcopirita, que a su vez es cortado por una vetilla de calcita, cuarzo secundario, jarosita y hematita, además se observa pirita diseminada de grano muy fino sobre la magnetita. El principal modo de ocurrencia es en vetillas.			
Observaciones microscópicas			
Se observa calcopirita en intersticios de cristales subhedrales de pirita, en los bordes de pirita se observa una masa de clorita férrica y magnesiana que la altera, acompañada de cuarzo y calcita diseminados.			
Fotografía macroscópica			
			
Diametro de la moneda = 23mm.			
	Minerales	Descripción	
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca	
Alteración	Clorita	10% de clorita férrica y 10% clorita magnesiana	
	Cuarzo secundario	Cristales anhedrales de tamaño 0.3 – 2.0mm paralelos a la mineralización de pirita y calcopirita; 2% estimación visual	
	Calcita	Tamaño variable de 0.2 a 1.0mm ; 1% estimado	
	Hematita	Menor a 0.1mm; 1%	
	Jarosita	Vetilla tardía de 2mm de espesor; 1%	
Mena	Pirita	Cristales euhedrales y subhedrales de 0.1 a 3mm; 15%	
	Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados y en vetillas que rellenan fracturas en piritas; 10% estimado	
	Magnetita	Cristales muy finos y diseminados; 50%	
Vetillas y microtexturas			
Veta mineralizada de calcopirita y pirita con espesor aproximado de 15mm. Vetilla rellena de calcita, jarosita y hematita de espesor 2mm.			
Relaciones cronológicas			
1) Roca de caja 2) Magnetita 3) Clorita 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Cuarzo secundario 7) Calcita 8) Jarosita			

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 573 685 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1172 573 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 632 854 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 834 1232">500 μm</p>	<p data-bbox="880 632 1421 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1307 1188 1385 1232">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1262 854 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 834 1862">500 μm</p>	<p data-bbox="880 1262 1421 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1307 1818 1385 1862">250 μm</p>

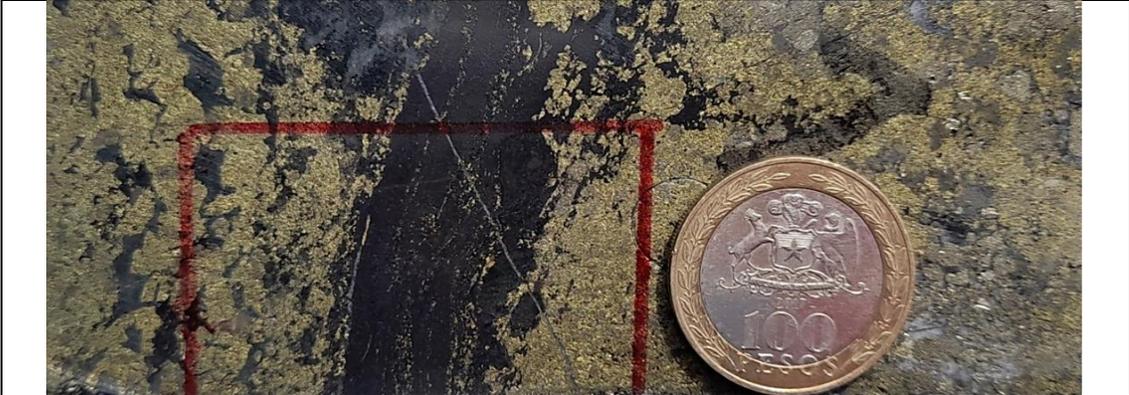
Observaciones macroscópicas

Roca mineralizada de magnetita masiva y en bandas, que se altera a clorita y epidota, posteriormente ocurre un evento de calcopirita masiva que es cortado por vetas de calcita y pirita euhedrales. La textura corresponde a una brecha hidrotermal de calcopirita y pirita en matriz.

Observaciones microscópicas

Se observan cristales subhedrales a euhedrales de pirita sobre mineralización de calcopirita. Se observa una veta de pirita acompañada de cuarzo y calcita en sus bordes que corta a magnetita.

Fotografía macroscópica



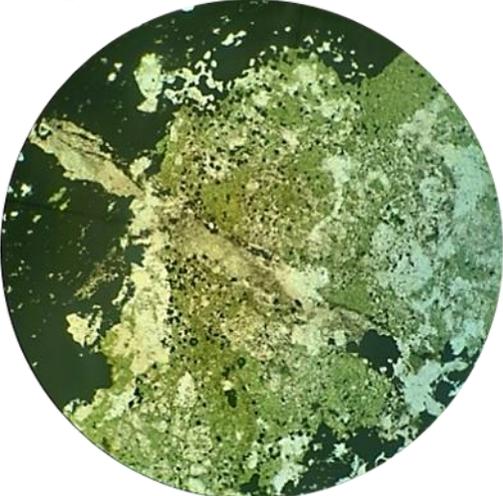
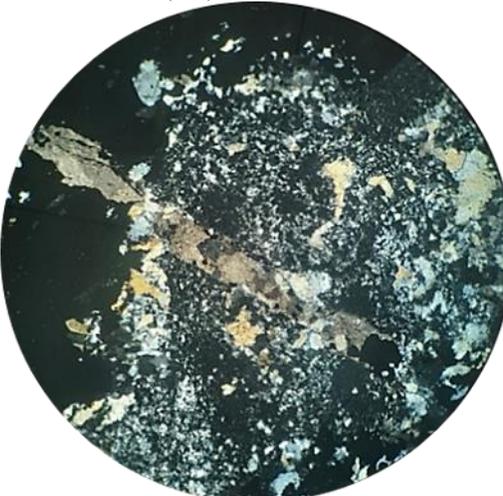
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales de 0.1 - 1.5mm, posteriores a la clorita; 2% estimado
	Calcita	Vetilla tardía de 0.25mm que intersecta a las menas; 2%
	Clorita	Diseminada anterior a las menas; 5%
	Epidota	Diseminada posterior a la clorita; 4%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de 0.5 - 2mm; 15%
	Calcopirita	Mineralización masiva; 30%
	Magnetita	Cristales muy finos diseminados menor a 0.1mm; 42%

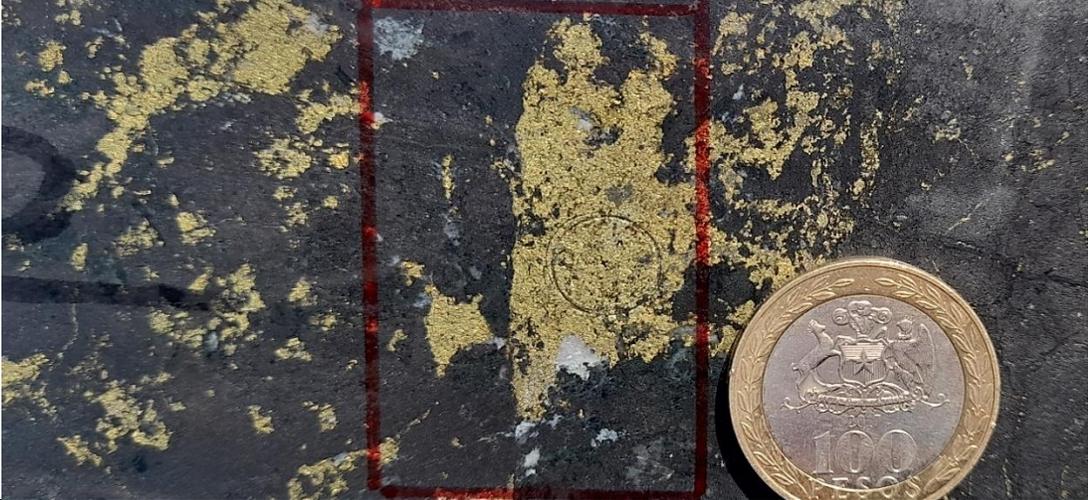
Vetillas y microtexturas

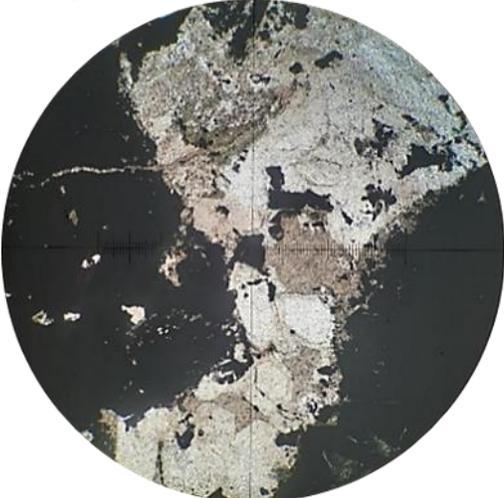
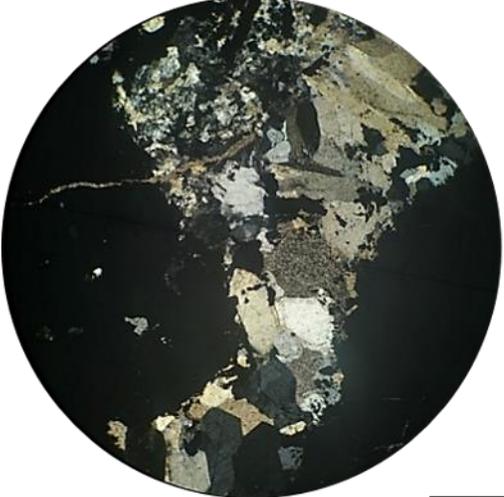
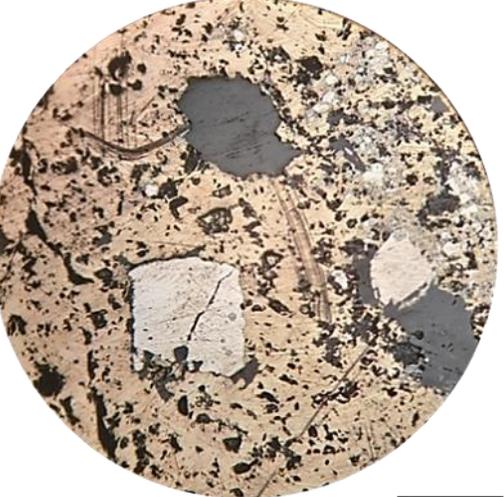
Magnetita bandeada y en matriz con bandas muy delgadas de calcopirita. Vetilla de calcita, cuarzo y pirita de un espesor de 0.8mm. Se observan cristales subhedrales a euhedrales de pirita y en sus fracturas esta relleno por calcopirita en textura de isla de mineral huésped.

Relaciones cronológicas

1) Roca de caja 2) Epidota 3) Magnetita 4) Clorita 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Pirita II 8) Cuarzo secundario 9) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 569 688 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 569 1252 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="753 1192 834 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1295 1192 1377 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="753 1822 834 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1295 1822 1377 1864">250 μm</p>

Sondaje	DDH13-IR-12	Muestra	M4
Observaciones macroscópicas			
Roca mineralizada con magnetita masiva, alterada a clorita, posterior mineralización de calcopirita diseminada junto a inclusiones de pirita y calcita y cuarzo secundario			
Observaciones microscópicas			
Se observan cristales subhedrales a euhedrales de pirita y en sus fracturas esta relleno por calcopirita. Veta de calcita y cuarzo alterada por clorita. Clorita alterando toda la roca de manera diseminada.			
Fotografía macroscópica			
			
	Minerales	Descripción	
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca	
Alteración	Calcita	Cristales anhedrales de entre 0.3 a 2 mm; 4%	
	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales de entre 0.4 a 1.2 mm; 4%	
	Clorita	Alteración diseminada de 30% estimado	
Mena	Magnetita	Cristales muy finos diseminados por la roca; 32%	
	Pirita	Cristales euhedrales de 0.1 – 0.5mm; 10%	
	Calcopirita	Diseminada, posterior a la ocurrencia de pirita; 20%	
Vetillas y microtexturas			
Veta de pirita calcita alterada a clorita en sus bordes			
Relaciones cronológicas			
1) Roca de caja 2) Magnetita 3) Clorita 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Calcita 7) Cuarzo secundario			

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 573 683 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 573 1247 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 632 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="760 1192 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="875 632 1411 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1192 1377 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 849 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="760 1827 836 1862">500 μm</p>	<p data-bbox="875 1266 1411 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1287 1827 1364 1862">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca mineralizada con magnetita, posterior evento de alteración de feldespato potásico y alteración leve de clorita férrica y magnesiana. Posterior veta sinuosa de clorita mineralizada con pirita y calcopirita.

Observaciones microscópicas

Fracturas de pirita rellenas por calcopirita.
Se observa alteración de feldespato potásico diseminada, es cortada por una veta de pirita y clorita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Clorita	Alteración diseminada y concentrada en una vetilla; 35%
	Cuarzo secundario	Cristales muy finos distribuidos en forma de vetilla; 10%
	Feldespato potásico	Alteración diseminada por la roca; 15%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales a euhedrales de 1-3mm; 20%
	Magnetita	Cristales muy finos diseminados en la roca; 16%
	Calcopirita	Escasa se observa en las fracturas de piritas; 4%

Vetillas y microtexturas

Veta de clorita con pirita espesor 10mm
 Vetilla de cuarzo secundario alterado por clorita, espesor 0.5mm
 Fractura en los cristales de pirita rellena por calcopirita

Relaciones cronológicas

1) Roca de caja 2) Feldespato potásico 3) Magnetita 4) Clorita 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Pirita II 8) Cuarzo secundario

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 575 688 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 575 1252 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 634 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 834 1230">500 μm</p>	<p data-bbox="873 634 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1188 1382 1230">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1264 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 834 1860">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1264 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1818 1382 1860">250 μm</p>

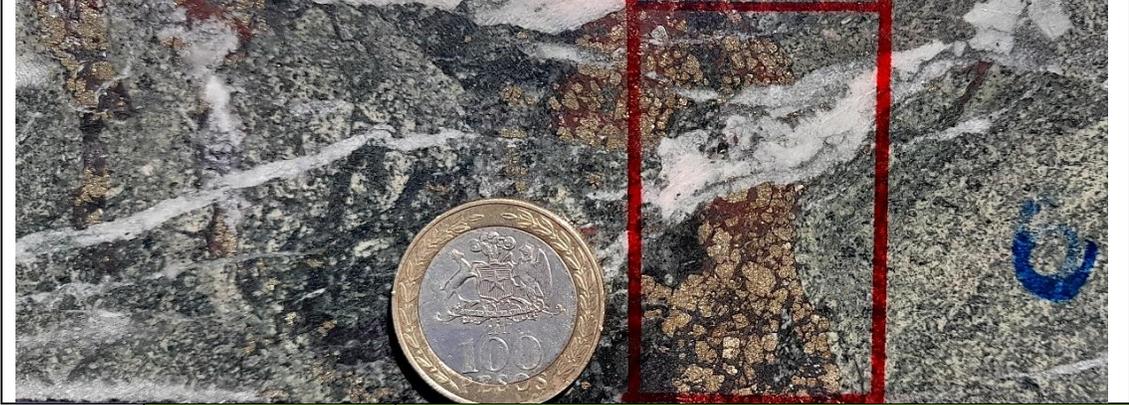
Observaciones macroscópicas

Se observa plagioclasa (como resto de roca de caja) alteradas a feldespato potásico pervasiva en matriz y en fenocristales acompañado de una silicificación (Ksil), clastos de magnetita y mushketovita diseminada, posterior alteración intensa en matriz de clorita que es cortado por una veta de hematita con piritas euhedrales, vetas de calcita con cuarzo cortan a todas las unidades anteriores.

Observaciones microscópicas

Masa afanítica de roca de caja alterado por un evento de Ksil acompañado de zoisitas
Se observan una recrystalización en la calcita

Fotografía macroscópica



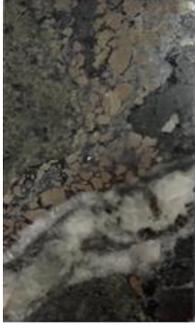
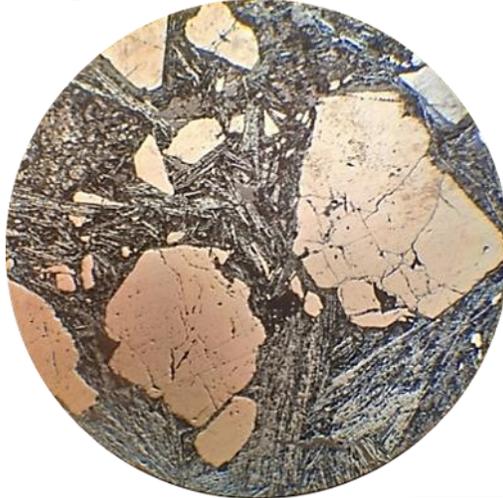
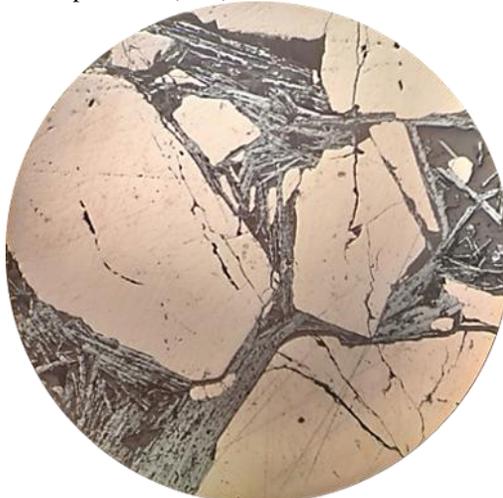
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales euhedrales de entre 0.4 a 0.8 mm; 3%
Alteración	Calcita	Cristales de 1 a 3mm; 15%
	Cuarzo secundario	Cristales masivos de 2mm; 20%
	Clorita	Masiva alterando a cuarzo y calcita 12%
	Feldespato potásico	Alteración masiva anterior a pirita; 10%
	Epidota	Cristales euhedrales de zoisita de 0.5 mm; 5%
	Hematita especular	Veta de 8 cm de paredes sinuosas; 5%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales y euhedrales; 15%
	Mushketovita	11% Cristales de 0.3 a 1mm; 11%
	Magnetita	Diseminado en la roca alterada; 4%

Vetillas y microtexturas

Veta de paredes sinuosas de pirita euhedral con hematita especular de espesor 8cm, cortada por veta de calcita con cuarzo de espesor 0.5mm.
Veta de clorita y magnetita.
Vetillas tardías de calcita de 11.5mm espesor

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa 2) Feldespato potásico 3) Magnetita 4) Epidota 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Hematita especular 8) Pirita II 9) Mushketovita 10) Cuarzo secundario 11) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 573 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1228">500 µm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1228">500 µm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1858">500 µm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1380 1858">250 µm</p>

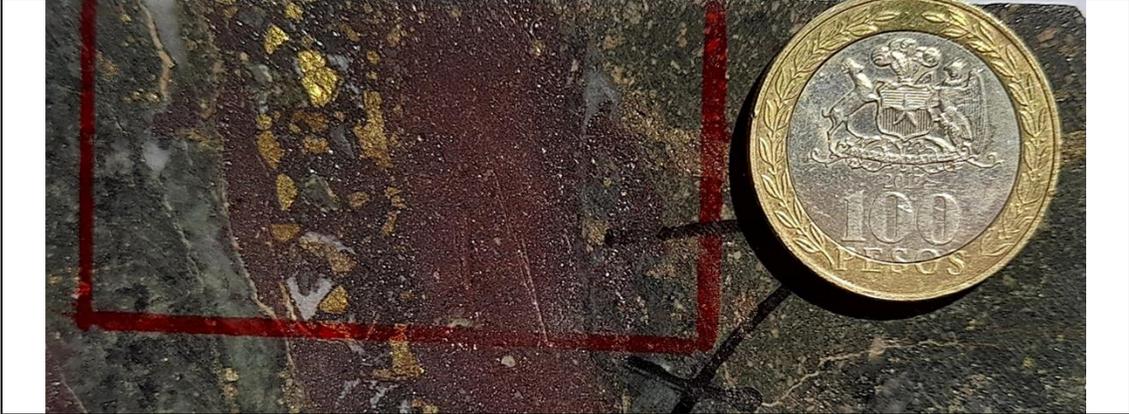
Observaciones macroscópicas

Roca percolada con magnetita masiva, posterior alteración de feldespato potásico en matriz, evento de clorita con calcita, cuarzo y pirita I, leve silicificación, sobre este se impone una mineralización en vetas de calcopirita, hematita especular, mushketovita y pirita II. El modo de ocurrencia es de una brecha hidrotermal.

Observaciones microscópicas

Cristales euhedrales menores a 0.1 mm de pirita diseminados en la roca acompañados de sílice. Se observa calcopirita diseminada afectada en los bordes por mushketovita y pirita II.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a las mineralizaciones y las alteraciones.
Alteración	Calcita	Cristales diseminados sobre la mena; 15%
	Cuarzo secundario	Cristales diseminados de 0.1 a 0.9 mm y en vetilla irregular de espesor variable entre 0.1 a 2.0 mm; 20%
	Clorita férrica	Diseminado en toda la roca; 35%
	Hematita especular	En veta acompañado de pirita y calcopirita; 5%
Mena	Pirita	Diseminada en matriz y en veta con hematita especular; 8%
	Calcopirita	Asociada a mushketovita; 3%
	Magnetita	Diseminada en matriz; 5%

Vetillas y microtexturas

Veta de cuarzo y calcita de espesor 8mm sobre alteración de clorita.
 Veta mineralizada de pirita de espesor 1mm.
 Veta de hematita especular con cristales euhedrales de pirita II de 2mm de tamaño, en los bordes de la veta se observa silicificación.
 En los bordes de calcopirita está afectada por pirita II y mushketovita.
 Cristales subhedrales de pirita I de 0.1mm diseminada en la roca y en vetillas.
 Vetillas de magnetita y calcopirita alternada con vetillas de pirita y cuarzo.

Relaciones cronológicas

1) Feldespato potásico 2) Magnetita 3) Clorita 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Pirita II 7) Hematita Especular 8) Mushketovita 9) Cuarzo secundario 10) Calcita 11) Óxidos de hierro

Fotografía sección transparente



0.65 mm

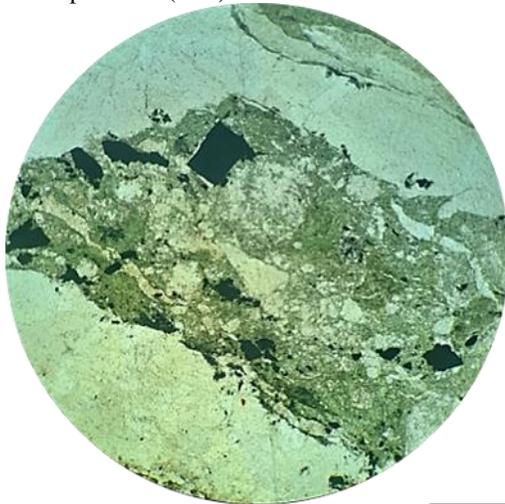
Fotografía sección pulida



0.65 mm

Microfotografías sección transparente

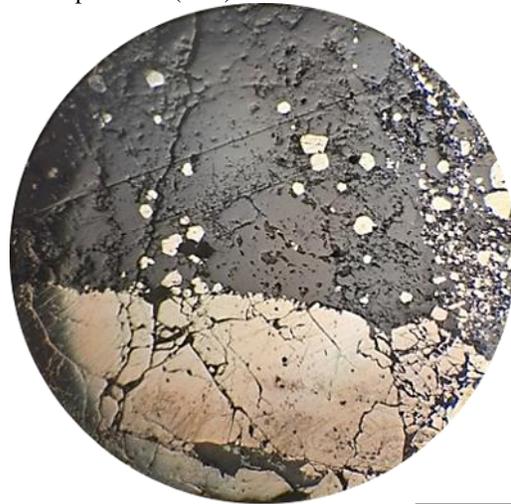
Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles paralelos (LPP).



500 µm

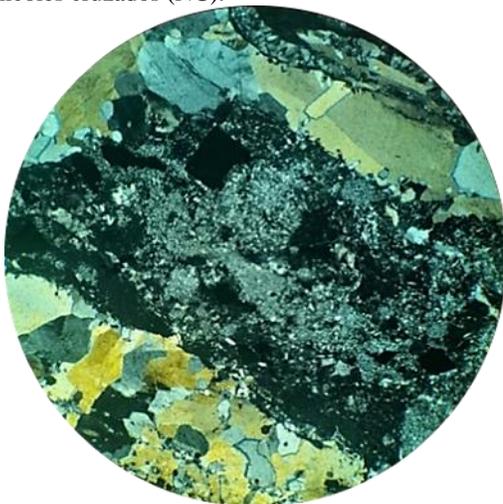
Microfotografías sección pulida

Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicoles paralelos (LPP).



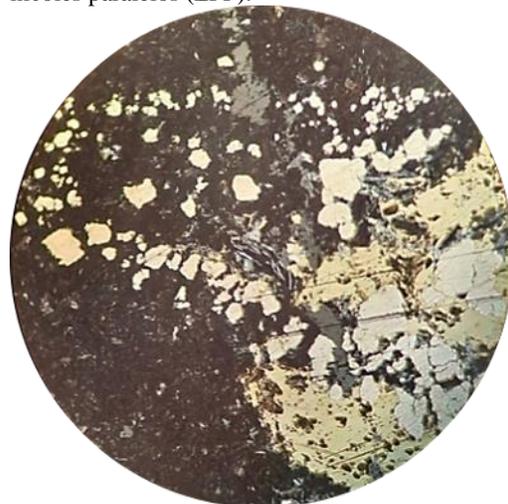
500 µm

Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles cruzados (NC).



500 µm

Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicoles paralelos (LPP).



250 µm

Observaciones macroscópicas

Brecha sedimentaria con clastos subangulosos (0.2 - 1.3mm) de roca volcánica con matriz soportada de hematita de color rojizo, está alterada a feldespato potásico y clorita de intensidad leve, posteriormente ocurre un evento mineralizador de calcopirita, pirita diseminados, en la etapa final ocurren vetas y vetillas de calcita acompañada de sílice y hematita especular

Observaciones microscópicas

Clorita altera a vetas de calcita y cuarzo, que a su vez son cortados por mushketovita y hematita
 En vetas de calcita se observa mineralización diseminada de calcopirita
 Se observan cristales subhedrales de pirita I y en sus bordes es reemplazada por calcopirita

Fotografía macroscópica



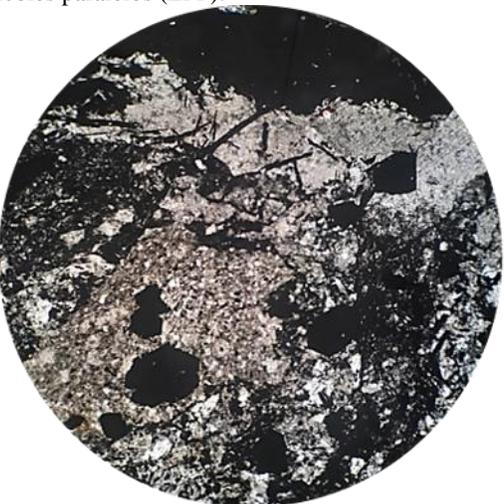
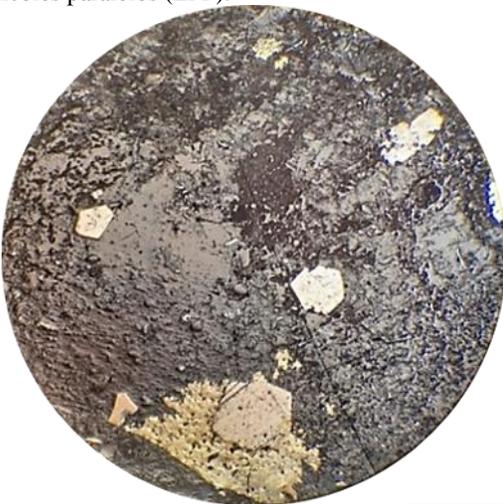
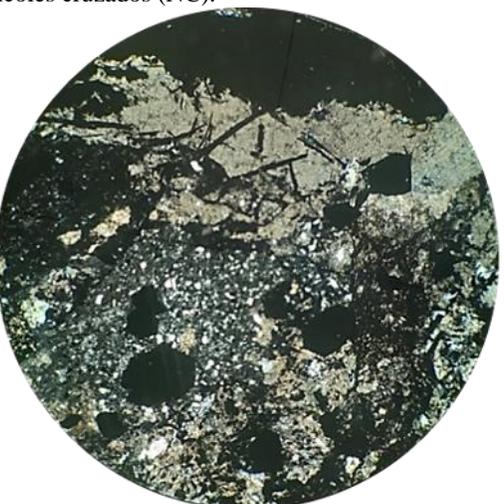
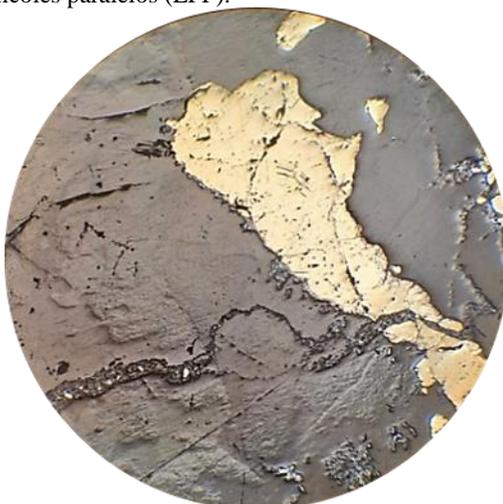
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a las mineralizaciones y las alteraciones.
Alteración	Calcita	Vetillas cuyo espesor varía entre 1 a 7 mm; 8%
	Cuarzo secundario	Cristales anhedrales en vetillas y en cúmulos; 5%.
	Clorita	Afectando a calcita y en matriz; 3%
	Feldespato potásico	Diseminado en matriz; 5%
	Hematita	En matriz de roca; 65%
Mena	Hematita especular	Cristal de tamaño fino en vetilla de calcita; 5%
	Pirita	Escasos cristales tamaño 0.5 mm; 1%
	Calcopirita	Diseminada tamaño 1mm; 1%
	Magnetita	Diseminada en matriz; 7%

Vetillas y microtexturas

Brecha de matriz hematitizada, con clastos de roca de caja sin hematita.
 Veta de cuarzo cortada por mushketovita de 0.5 – 0.8mm de espesor
 Veta de calcita con cuarzo de 12mm cortada por clorita y hematita especular

Relaciones cronológicas

1) Brecha volcánica 2) Feldespato potásico 3) Clorita 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Hematita especular 7) Mushketovita 8) Calcita 9) Cuarzo secundario

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 567 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 567 1258 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="308 630 852 682">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="872 630 1421 682">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1307 1186 1388 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="308 1260 852 1312">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1816 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="872 1260 1421 1312">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1307 1816 1388 1858">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca con matriz de magnetita, seguida por una alteración de clorita férrica y magnésica en proporciones similares. Posterior evento de cuarzo cortado por un evento mineralizador de pirita I y calcopirita en vetillas. La calcopirita es cortada por cristales de mushketovita (oxidación de hematita) finalmente un evento de calcita relleno intersticios, en venillas y en vetillas.

Observaciones microscópicas

Magnetita masiva anterior a la mineralización de sulfuros.
 Cristal subhedral de pirita acompañada de calcita y cuarzo, en sus fracturas se observa calcopirita.
 Cristal de calcopirita interceptado por cristales de mushketovita.
 La calcita es alterada por clorita férrica y magnesiana masiva.

Fotografía macroscópica



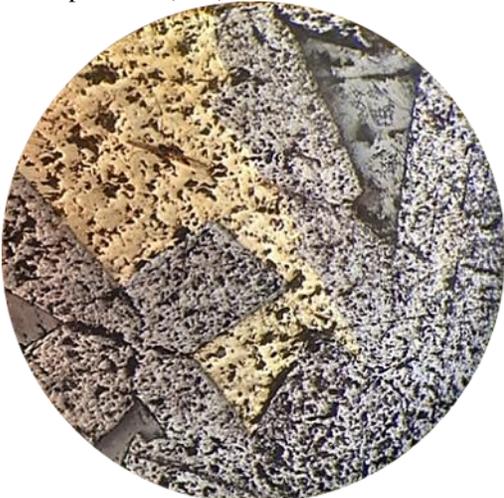
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a las mineralizaciones y las alteraciones.
Alteración	Calcita	Cristales subhedrales entre 0.1 a 2 mm, relleno intersticios y en vetillas; 5%
	Cuarzo	Cristales subhedrales de tamaño menor a 0.1 mm - 1 mm; 5%
	Clorita	De tipo férrica y magnesiana en proporciones similares, diseminada e intensidad media; 10% clorita férrica y 10% clorita magnesiana
Mena	Calcopirita	Escasa ocurrencia cristales de tamaño 0.5 – 1mm; 4%.
	Pirita	Escasa ocurrencia cristales de tamaño 0.3 - 1mm; 2%
	Mushketovita	Cristales aciculares que se distribuyen por toda la roca; 42%
	Magnetita	Diseminada por toda la roca; 22%

Vetillas y microtexturas

Vetilla de cuarzo y calcita sinuosa de 2mm de espesor en sus bordes se observa alteración de clorita.
 Vetilla de relleno de calcita de paredes sinuosas.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Cuarzo secundario 4) Pirita 5) Calcopirita 6) Mushketovita 7) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 685 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1172 573 1248 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 634 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 831 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="873 634 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1192 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1264 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 831 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1264 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1822 1380 1858">250 μm</p>

Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M1
---------	-------------	---------	----

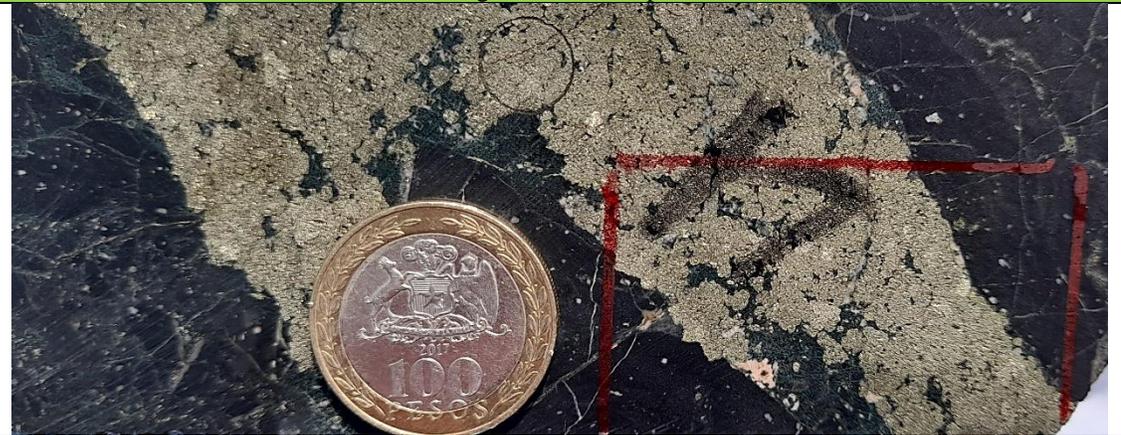
Observaciones macroscópicas

Restos de roca de caja (andesita porfirica) levemente magnetizada, se observan cristales de plagioclasa alterada a feldespato potásico y piroxeno alterados por clorita, y posteriormente ocurre una alteración de epidota (zoisita) y anfíboles secundarios (hornblenda). Evento mineralizador de calcopirita y pirita I en vetas, finalmente vetas de cuarzo y calcita relleno de espacios.

Observaciones microscópicas

Se observan fragmentos de roca de caja con minerales de plagioclasa y piroxenos, roca de caja presenta alteración de feldespato potásico.
 Metasomatismo de hierro aluminio y magnesio.
 Cristales de plagioclasa alteradas a epidota.
 Vetillas de cuarzo y calcita con alteración en los bordes de clorita y epidota.
 Magnetita diseminada de grano muy fino (<0.1mm) junto a la roca de caja posterior evento mineralizador de sulfuros, calcopirita y luego pirita I.

Fotografía macroscópica



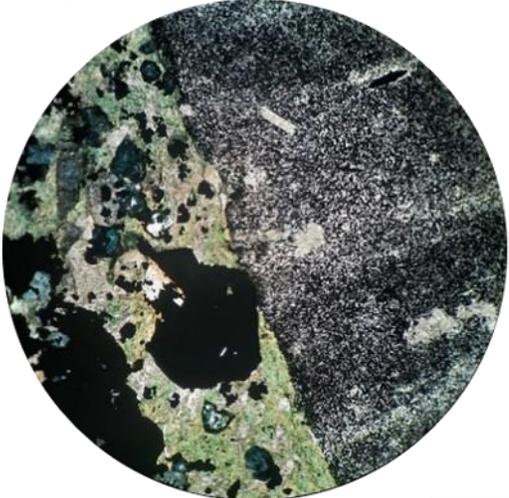
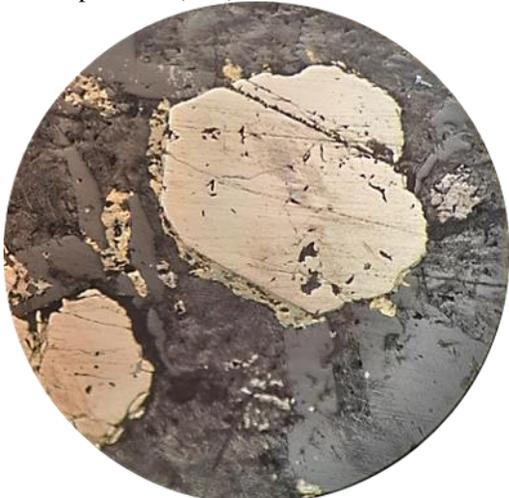
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasas	Cristales anhedrales de entre 0.6 a 1.2 mm alterado por clorita; 2%
	Piroxeno	Cristales subhedrales entre 0.1 a 0.3 mm de ortopiroxeno y de 0.1 a 0.8 mm de clinopiroxeno; 1%
Alteración	Epidota	Cristales subhedrales de zoisita entre 0.2 a 1.8 mm; 7%
	Feldespato potásico	Afectando a roca de caja; 6%
	Calcita	Vetillas con pirita; 3%
	Cuarzo secundario	Diseminado, cristales subhedrales; 5%
	Anfíbol	Cristales subhedrales de hornblenda de tamaño 0.6mm; 2%
	Clorita	Alteración diseminada de mediana intensidad, tipo férrica y magnesiana en proporciones iguales; 20%
Mena	Pirita	Mineralización masiva de tamaño 0.4 – 2mm; 45%
	Calcopirita	Alteración diseminada anterior a pirita; 7%
	Magnetita	Cristales diseminados en matriz muy finos menor a 0.1mm; 2%

Vetillas y microtexturas

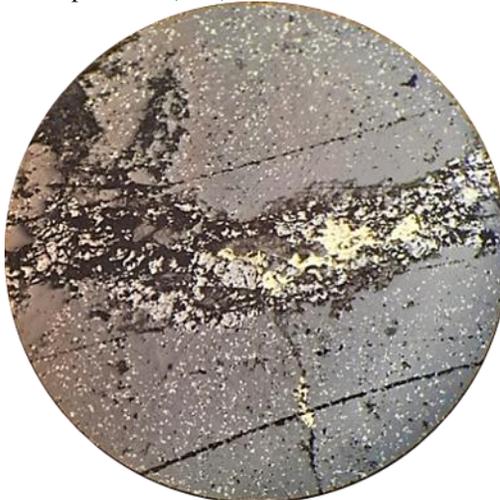
Vetilla de calcita y cuarzo en contacto con roca de caja y alterada a clorita en los bordes de 0.2 – 0.8mm de espesor.
 Veta mineralizada de pirita y calcopirita de espesor de 40mm.

Relaciones cronológicas

1) Restos de roca de caja (Plagioclasa y piroxenos) 2) Feldespato potásico 3) Epidota 4) Magnetita 5) Clorita 6) Epidota 7) Pirita I 8) Calcopirita 9) Pirita II 10) Anfíbol Cuarzo secundario 11) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="613 569 695 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 569 1258 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 867 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="764 1192 841 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="889 632 1417 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicoles paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1192 1377 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 867 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="764 1822 841 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="889 1262 1417 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicoles paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1822 1377 1864">250 μm</p>

Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M2
Observaciones macroscópicas			
Se observa fragmentos de roca de caja (andesita porfírica) con minerales de plagioclasa y se detecta un alto magnetismo (clastos de magnetita) y posterior Ksil que brechizan a la roca. Posterior alteración moderada de clorita que trae la mineralización de calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas. Para la etapa más tardía ocurre una alteración de calcita en vetillas que corta tanto a la roca como a las alteraciones y mineralizaciones.			
Observaciones microscópicas			
Se observa silicificación de cuarzo masivo diseminado por toda la roca posterior a alteración de clorita. Vetillas tardías de calcita. Calcopirita metiéndose en fracturas de pirita I.			
Fotografía macroscópica			
			
	Minerales	Descripción	
Formadores de roca	Plagioclasas	Cristales de hasta 0.4 mm que pasan por procesos de alteración; 1%	
Alteración	Cuarzo secundario	Tamaño 0.1 a 0.6mm, evento de alteración que genera fracturas en la roca de caja, provocando un aspecto de brecha hidrotermal; 45%	
	Clorita	Alteración diseminada de intensidad débil; 28%	
	Calcita	Vetillas de 0.1 mm; 5%	
Mena	Magnetita	Cristales de tamaño fino diseminados en la roca y en vetillas; 15%	
	Calcopirita	Diseminado por la muestra; 5%	
	Pirita	Cristales subhedrales menores a 0.5mm; 1%	
Vetillas y microtexturas			
Roca de caja en contacto con vetilla de calcita de 3 mm de espesor con cuarzo subhedrales cortando a roca de caja. Textura de brecha hidrotermal producto del evento de cuarzo secundario que afecta masivamente a la roca.			
Relaciones cronológicas			
1) Plagioclasas (restos de roca de caja) 2) Magnetita 3) Clorita 4) Calcopirita 5) Pirita 6) Cuarzo secundario 7) Calcita			

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 575 685 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1172 575 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 634 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 834 1230">500 μm</p>	<p data-bbox="873 634 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1188 1377 1230">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1264 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 834 1860">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1264 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1818 1377 1860">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Magnetita masiva que percoló a la roca de caja posteriormente es cortada por una veta de pirita y calcopirita de espesor 25mm.
 Se observa alteración de clorita que brechizó a la roca y evento de silicificación, finalmente evento tardío de calcita que ocupa intersticios.
 Vetilla de calcopirita cortando a pirita.

Observaciones microscópicas

En bordes de cristales de menas clorita y calcita relleno de espacios.
 Matriz cloritizada con cuarzo masivo y de grano fino menor a 0.1 mm cortado por microvetillas de calcita.
 Veta de pirita I, calcopirita y calcita.

Fotografía macroscópica



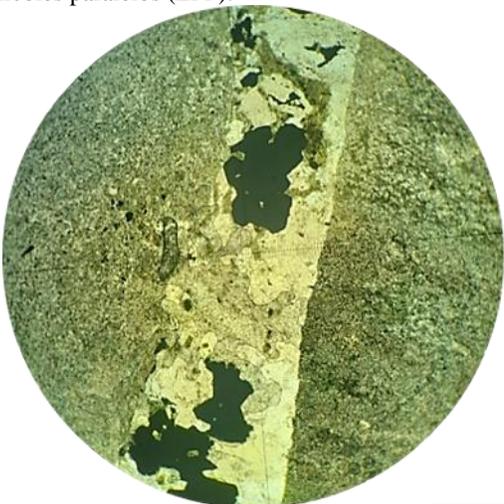
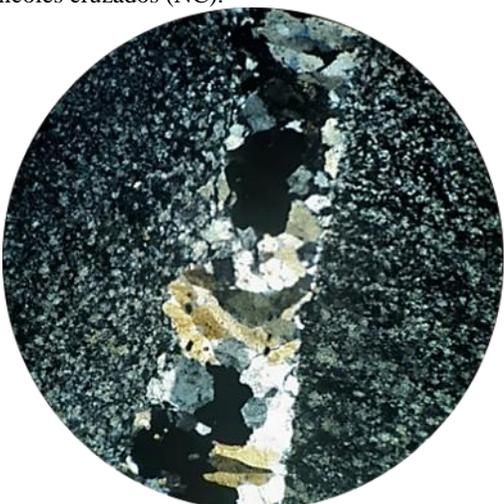
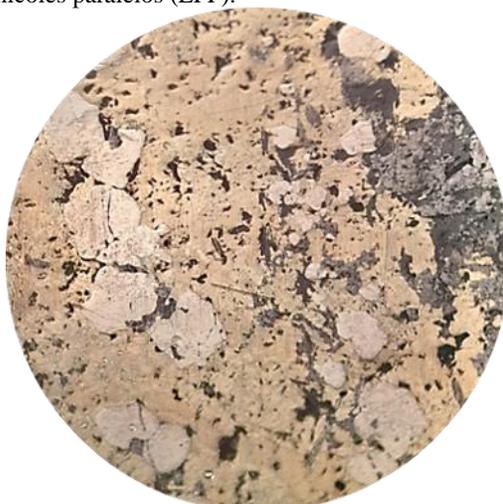
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales a anhedrales de 0.2 a 1.2 mm en matriz y en vetillas de hasta 0.1 mm de espesor; 4%
	Calcita	Rellenando espacios; 3%
	Clorita	Alteración disseminada de clorita férrica 4% y magnésiana 4%
Mena	Calcopirita	Mineralización masiva; 30%
	Pirita	Cristales subhedrales y masivos; 40%
	Magnetita	Cristales muy finos disseminados en la roca de caja; 15%

Vetillas y microtexturas

Veta de cuarzo de 1.5mm
 Vetillas de cuarzo secundario de 0.2 mm de espesor cortado por vetillas de calcita menor a 0.1 mm de espesor sobre alteración de clorita.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Cuarzo 6) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 567 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 567 1258 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="316 630 852 682">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="876 630 1412 682">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1186 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="316 1260 852 1312">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1816 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="876 1260 1412 1312">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1816 1380 1858">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca de caja levemente magnetizada, posterior brecha de feldespato potásico cortada por alteraciones de clorita y epidota en cúmulos, se sobre impone una mineralización de calcopirita

Observaciones microscópicas

Roca silicificada masivamente, es cortada por una veta de pistacita y halos de clorita Epidota reemplazando anfíbol.
Mineralización de calcopirita y magnetita diseminada en matriz.

Fotografía macroscópica



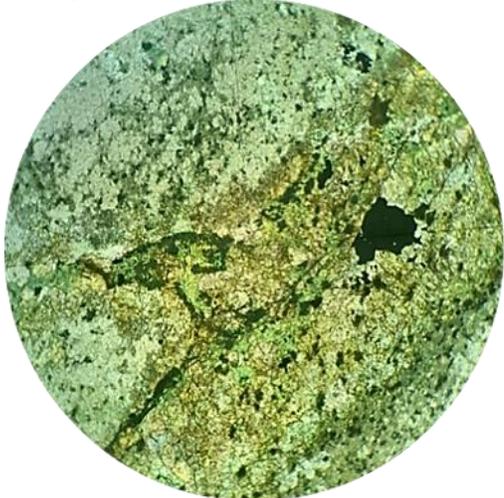
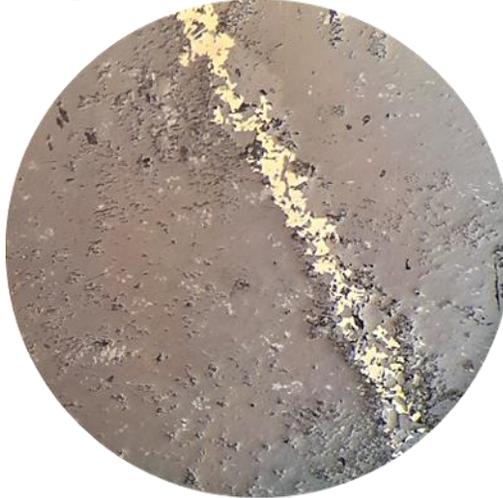
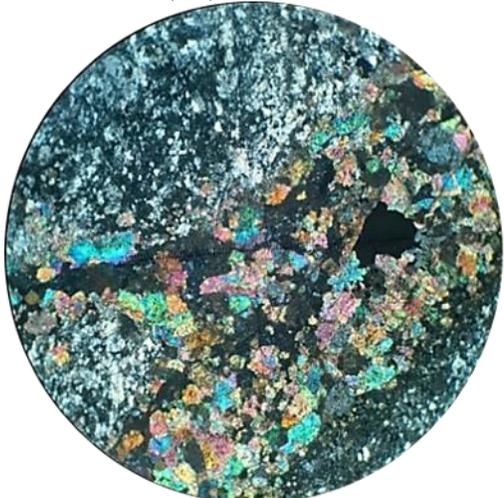
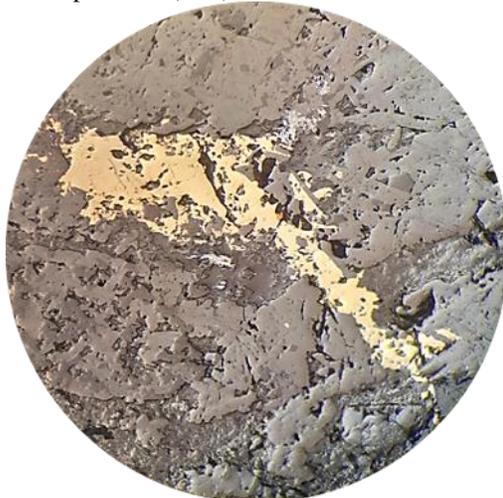
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Feldespato potásico	Alteración masiva que afecta a la roca de caja; 45%
	Epidota	Alteración en cúmulos de pistacita; 10%
	Clorita	Alteración tanto de clorita rica en hierro como rica en magnesio; 36%
	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales de tamaño muy fino 0.1 - 0.2mm; 5%
	Anfíbol	Hornblenda alterada por epidota; 1%
Mena	Calcopirita	Mineralización diseminada y vetillas; 2%
	Magnetita	2%? Mineralización escasa; 1%

Vetillas y microtexturas

Brecha de feldespato potásico cortado por una vetilla de epidota y cuarzo espesor 0.2 – 2mm y halo de clorita férrica.
Vetilla de calcopirita y magnetita en menor proporción.

Relaciones cronológicas

1) Feldespato potásico 2) Magnetita 3) Epidota 4) Clorita 5) Anfíbol 6) Calcopirita 7) Cuarzo

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 569 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 569 1258 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1380 1858">250 μm</p>

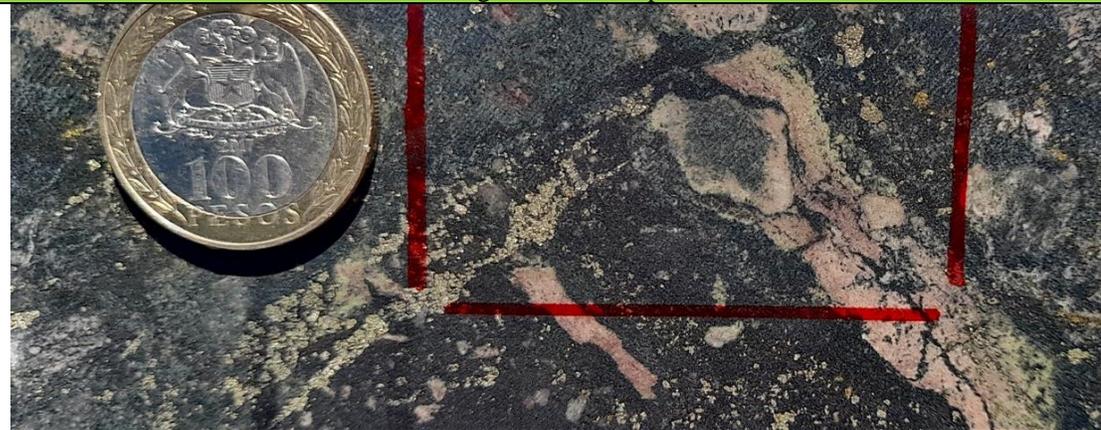
Observaciones macroscópicas

Clastos de feldespato potásico rodeados de magnetita, cortados por vetillas de pirita y calcopirita, además la roca presenta alteración de clorita y epidota

Observaciones microscópicas

Matriz cloritizada asociada a pistacita en menor cantidad, y posterior silicificación. Mineralización de calcopirita cortando a cristales subhedrales de pirita en vetillas y diseminado.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales anhedrales de 0.1 hasta 0.4 mm desarrollados en los intersticios; 5%
	Clorita	Diseminada en matriz; 15%
	Epidota	Cristales aciculares de hasta 0.4 mm; 10%
	Feldespato potásico	Alteración desarrollada en forma de banda sinuosa; 22%
Mena	Pirita	Mineralización en vetillas; 20%
	Calcopirita	Mineralización escasa posterior a pirita; 10%
	Magnetita	Mineralización diseminada en matriz de grano fino; 18%

Vetillas y microtexturas

Brecha de feldespato potásico y cuarzo.
 Vetillas de clorita cortando a la matriz.
 Vetilla de 2mm de pirita.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Feldespato potásico 3) Clorita 4) Epidota 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Cuarzo secundario

Fotografía sección transparente



0.65 mm

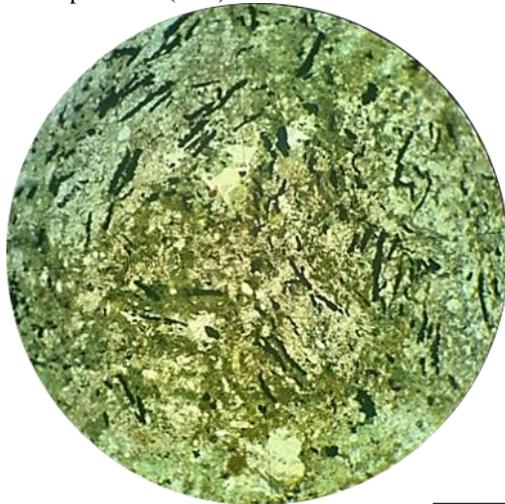
Fotografía sección pulida



0.65 mm

Microfotografías sección transparente

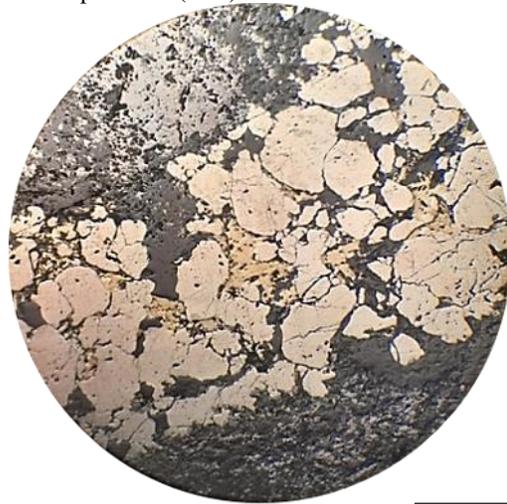
Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles paralelos (LPP).



500 μ m

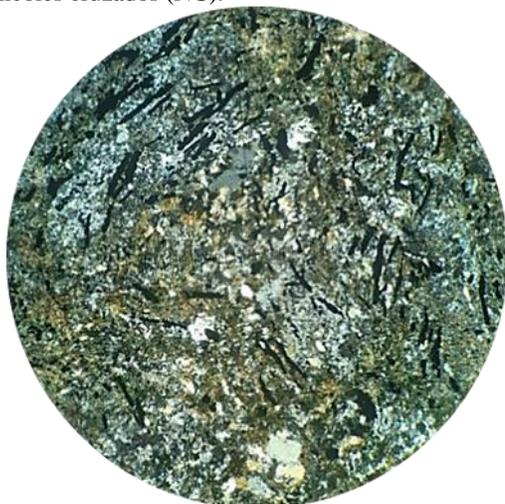
Microfotografías sección pulida

Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicoles paralelos (LPP).



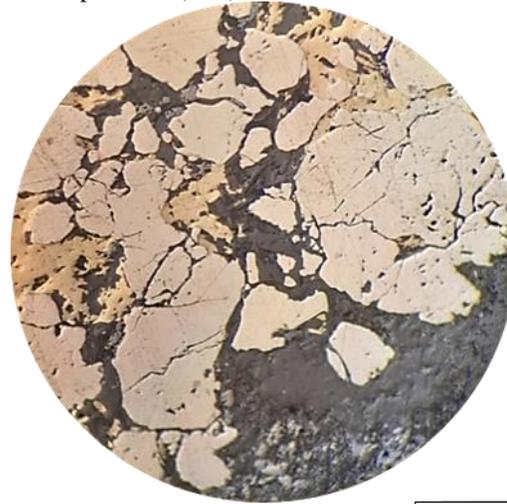
500 μ m

Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles cruzados (NC).



500 μ m

Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicoles paralelos (LPP).



250 μ m

Sondaje

DDH14-MC-18

Muestra

M4

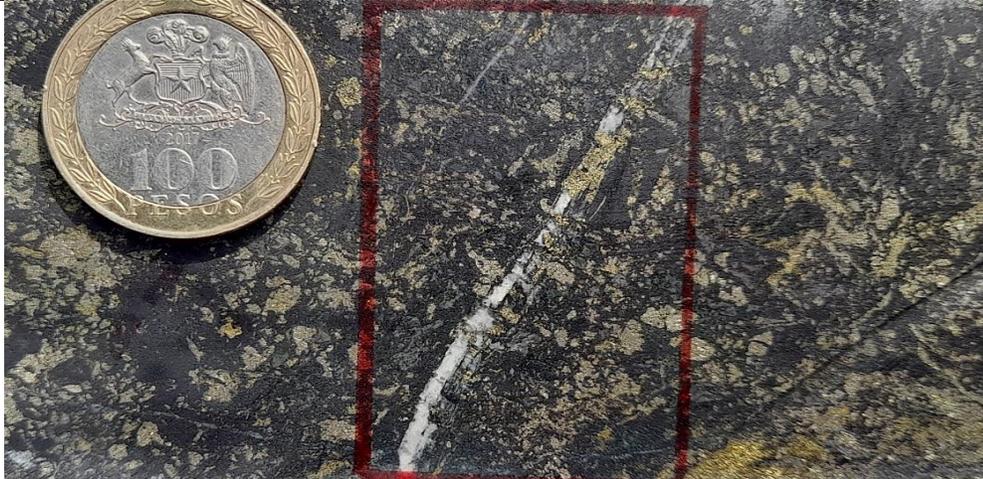
Observaciones macroscópicas

Mineralización masiva de magnetita, calcopirita y pirita cortado por vetas de calcita, pirita y calcopirita, relictos de roca de caja presentan alteración de clorita diseminada en matriz

Observaciones microscópicas

Cristales subhedrales a anhedrales de pirita de tamaño de 1 a 1.6mm.
Evento de magnetita percolando roca de caja, posterior alteración de clorita férrica y magnesiana en proporciones similares cortado por mineralización diseminada de pirita y calcopirita y en vetillas junto a calcita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a las alteraciones y las mineralizaciones.
	Clorita	Alteración diseminada e intensidad débil; 25%
	Calcita	Cristales anhedrales que están diseminados por la roca en intersticios; 15%
	Cuarzo secundario	Cristales anhedrales de hasta 0.2 mm; 10%
Mena	Pirita	Mineralización diseminada; 15%
	Calcopirita	Mineralización diseminada; 15%
	Magnetita	Mineralización diseminada en matriz; 20%

Vetillas y microtexturas

Mineralización masiva de pirita I y calcopirita.
Vetilla de calcita 4mm de espesor, con cristales de cuarzo de 0.2 a 1.5 mm y mineralización de cristales subhedrales de 0.7mm de pirita II y calcopirita.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Pirita II 6) Cuarzo secundario 7) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="602 573 688 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 573 1256 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 636 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1192 834 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="878 636 1414 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1302 1192 1380 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 849 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1822 834 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="878 1266 1414 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1302 1822 1380 1864">250 μm</p>

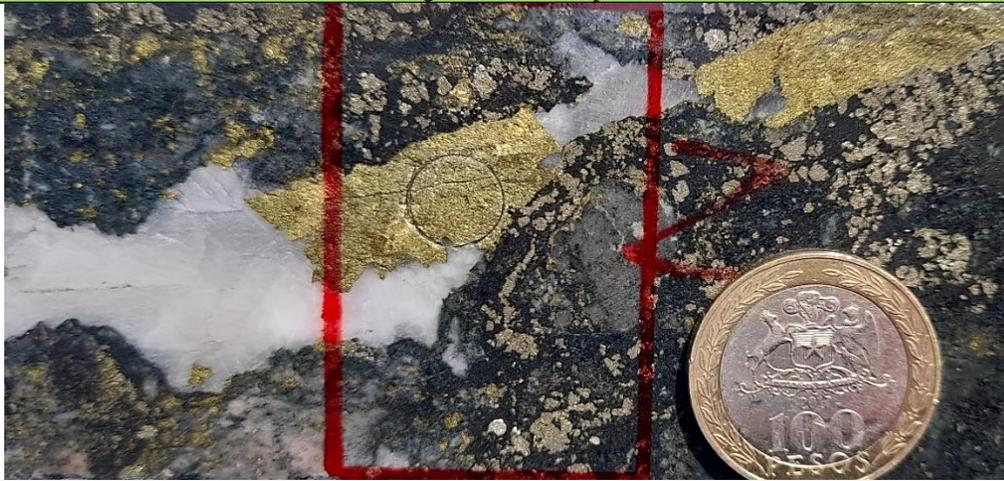
Observaciones macroscópicas

Cristales de plagioclasa y cuarzo como relictos de roca de caja, posterior evento de magnetita masiva que percoló a la roca. Seguido de alteración de clorita que brechizó a la roca y posterior mineralización de pirita y calcopirita diseminadas. Evento final de vetillas de calcita y mineralización de calcopirita.

Observaciones microscópicas

Cristales de calcita y cuarzo relleno de espacios.
 Cristales euhedrales de cuarzo 0.5 a 1mm diseminados como relictos de roca de caja junto a plagioclasa.
 Mineralización diseminada de pirita I y calcopirita.
 Veta de calcita y calcopirita de 12mm de espesor.

Fotografía macroscópica



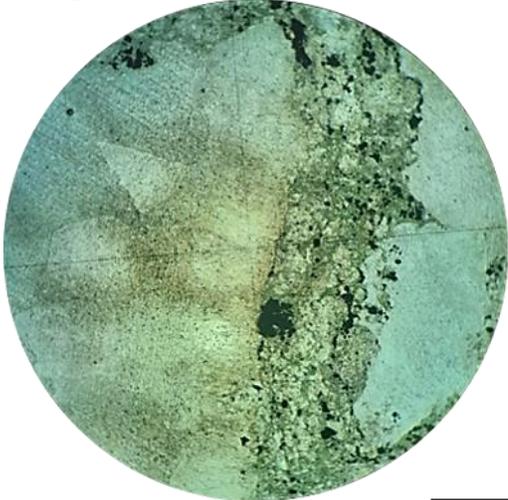
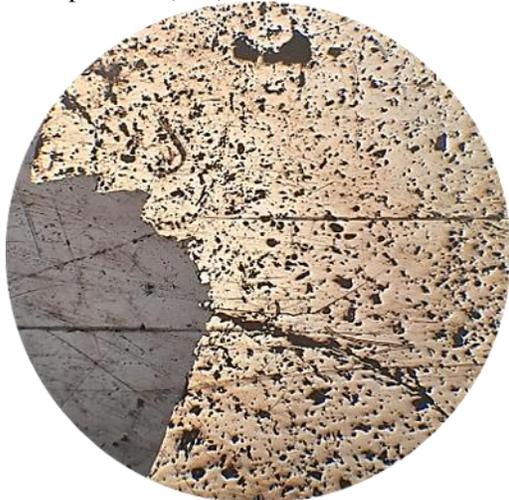
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales de 0.5 a 2mm.2%
	Cuarzo	Cristales euhedrales muy fino como masa fundamental; 4%
Alteración	Calcita	Mineralización en vetas; 15%.
	Cuarzo secundario	Alteración en cúmulos; 20%
	Clorita	Alteración de intensidad débil y diseminada por la roca, de variedad férrica y magnesiana; 6%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales; 13%
	Calcopirita	Mineralización diseminada; 26%
	Magnetita	Cristales diseminados en matriz; 14%

Vetillas y microtexturas

Veta de calcita con cristales crecidos de cuarzo de 2 a 3 mm y calcopirita de 6mm de espesor.
 Mineralización diseminada de calcopirita y pirita de forma masiva.

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa y cuarzo 2) Magnetita 3) Clorita 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Cuarzo secundario 7) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="597 573 683 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1161 573 1247 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 636 844 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="753 1188 829 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="875 636 1406 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1292 1188 1398 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 844 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="753 1818 829 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="875 1266 1406 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1292 1818 1398 1864">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Se observa alteración de clorita en matriz posterior evento de epidota diseminado y en vetas acompañado de cuarzo secundario, y mineralización de pirita y calcopirita. En los bordes de las menas se observan cristales de piroxeno y biotita, finalmente vetillas de calcita.

Observaciones microscópicas

Cristales de ortopiroxeno de tamaño 0.3mm.
 Se reconocen variedades de epidota: pistacita y zoisita.
 Veta de calcita y cuarzo secundario y epidota.
 Masa afanítica de clorita en matriz.

Fotografía macroscópica



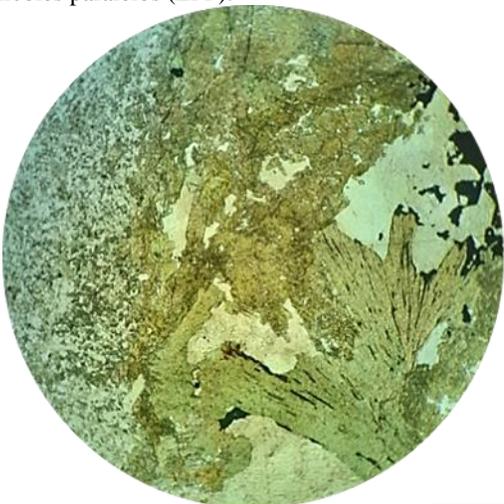
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales de 0.5 a 1mm como matriz de roca; 3%
Alteración	Calcita	Cristales anhedrales; 4%
	Cuarzo secundario	Alteración desarrollada como silicificación, diseminado junto con epidota; 35%
	Clorita	Alteración de clorita férrica en matriz; 3%
	Epidota	Pistacita y zoisita que se encuentran diseminadas junto con el cuarzo secundario; 40%
	Biotita	Cristales subhedrales cloritizada; 1%
	Piroxeno	Asociada a cuarzo menores a 0.3mm; 4%
Mena	Pirita	Mineralización anhedral; 3%
	Calcopirita	Cristales de 1mm de tamaño ; 7%

Vetillas y microtexturas

Masa afanítica de cuarzo y epidota, se observa un cúmulo de clorita.
 Plagioclasa como resto de roca de caja cortada por una vetilla de cuarzo con calcita, anfíbol.
 Alteración de clorita en bordes de veta de calcita.
 Veta de epidota de 12m de espesor acompañada de calcopirita.

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa 2) Epidota 3) Biotita 4) Piroxeno 5) Clorita 6) Cuarzo secundario 7) Pirita I 8) Calcopirita 9) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 577 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 577 1258 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="316 640 852 693">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="885 640 1421 693">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1186 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="316 1270 852 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1816 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="885 1270 1421 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1816 1380 1858">250 μm</p>

Sondaje	DDH14-MC-18	Muestra	M17
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas

Roca percolada por magnetita alterada por epidota y clorita, mineralizada casi en su totalidad por pirita cubica masiva y en mayor proporción que calcopirita.

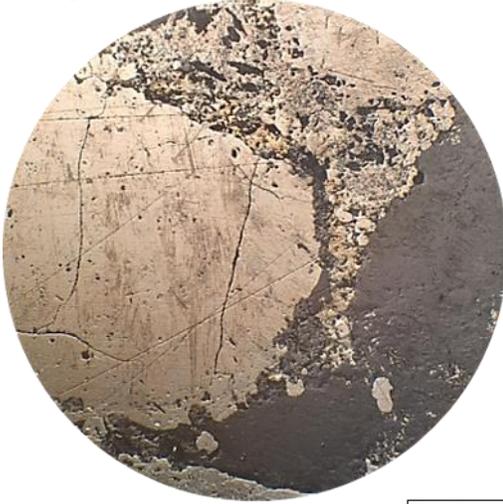
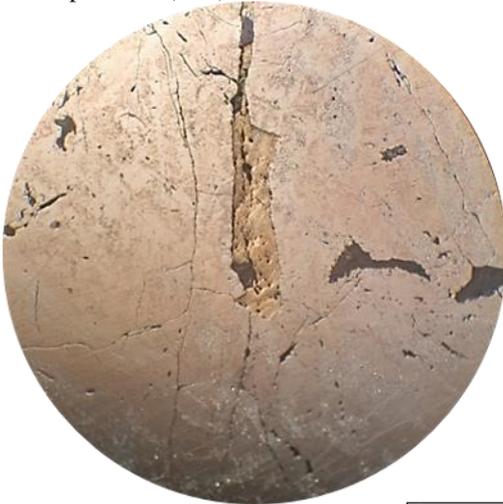
Observaciones microscópicas

Cristales aciculares de pistacita menores a 0.1mm, acompañados de calcita.
Cristales subhedrales entre 0.5 a 2mm de pirita asociados a alteración de epidota.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Epidota	Cristales aciculares de pistacita diseminados por la roca de 0.1mm; 20%
	Calcita	Rellenando espacios; 2%
	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 0.2 mm; 5%
Mena	Calcopirita	Mineralización masiva asociada a epidota; 20%
	Pirita	Cristales de 0.5 – 2mm, masivos asociados a epidota; 40%
	Magnetita	Mineralización diseminada en matriz; 13%
Vetillas y microtexturas		
No se reconocen vetillas.		
Relaciones cronológicas		
1) Magnetita 2) Epidota 3) Cuarzo secundario 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Pirita II 7) Calcita		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 573 688 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 573 1252 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 636 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="760 1192 834 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="875 636 1411 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1302 1192 1377 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 849 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="760 1822 834 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="875 1266 1411 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1302 1822 1377 1864">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca de caja no reconocible debido a un evento temprano de magnetita masiva, seguido por una alteración moderada de clorita, posterior evento mineralizador de pirita en ocurrencia diseminada. Vetilla y venillas tardías de calcita y cuarzo cortando los eventos anteriores.

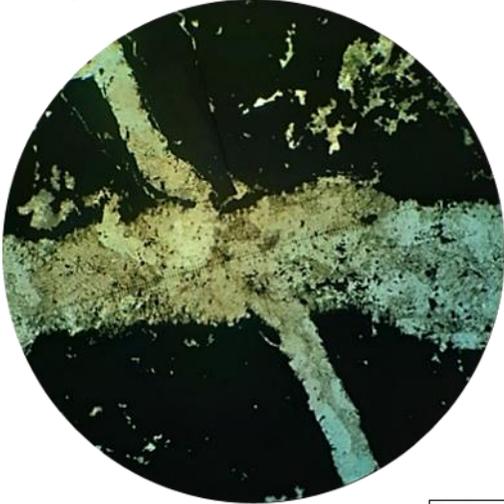
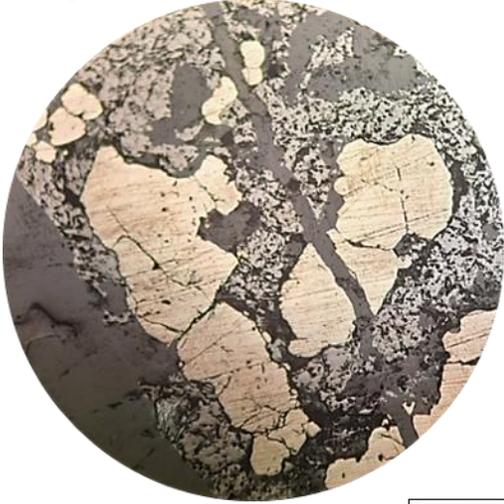
Observaciones microscópicas

Vetilla de calcita con cuarzo subhedral a anhedral y calcopirita, cortan a una venilla de calcita. En la roca de caja se observa alteración diseminada de clorita en matriz, en bordes de vetilla de calcita se observa clorita. Veta de cuarzo tardío corta a la mineralización de pirita subhedral y magnetita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	Ocurren en vetillas entre 0.5 a 1mm de tamaño de cristales; 2%
	Cuarzo secundario	Vetilla sinuosa de 0.9 mm de espesor sobre alteración de clorita y menas, además de cristales diseminados por los intersticios; 9%
	Clorita	Alteración escasa y diseminada de variedad férrica y magnesiánica.; 10%
Mena	Pirita	Mineralización escasa y diseminada sobre magnetita; 8%.
	Calcopirita	Cristales muy finos menor a 0.1mm; 1%
	Magnetita	Mineral diseminado como matriz de roca; 70%
Vetillas y microtexturas		
Vetilla de cuarzo secundario, de un espesor aproximado de 1 mm con calcita en bordes y mineralización de calcopirita.		
Relaciones cronológicas		
1) Magnetita 2) Clorita 3) Pirita 4) Calcopirita 5) Cuarzo secundario 6) Calcita		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 569 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 569 1258 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1380 1864">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Primer evento observado mineralización masiva de magnetita, seguido de una alteración de grano fino de clorita junto a pirita I. Posterior cuarzo secundario en vetillas y diseminado. Evento final de calcita en vetillas acompañada de calcopirita.

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Alteración de grano fino de clorita férrica y magnesiana en proporciones similares. Vetas de calcita y cuarzo sobre alteración de clorita asociadas a la calcopirita, desplazada posteriormente por una vetilla de pirita.

Fotografía macroscópica



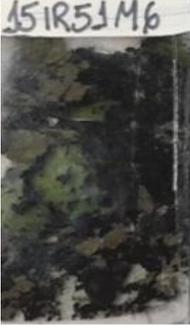
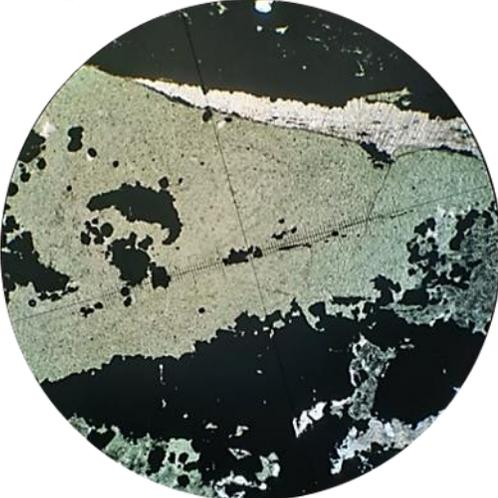
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Clorita	Diseminado en matriz, variedad férrica y magnesiana; 30%
	Calcita	Mineralización en vetillas y venillas; 5%
	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales de entre 0.3 a 0.5 mm; 5%
Mena	Calcopirita	Mineralización asociada a calcita; 15%
	Pirita	Mineralización diseminada anterior a calcopirita; 15%
	Magnetita	Se encuentra diseminada por la roca como matriz; 30%

Vetillas y microtexturas

Vetilla de calcopirita y calcita de 3mm y en sus bordes se observan cuarzos.
 Matriz de magnetita posterior evento de cloritización.
 Vetilla de calcita mineralizada con calcopirita de espesor 8mm.
 Se observa en muestra de mano una falla de rumbo que desplaza a la veta de calcopirita y pirita.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Cuarzo secundario 6) Pirita II 7) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="602 573 686 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1166 573 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 632 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1192 834 1230">500 μm</p>	<p data-bbox="875 632 1411 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1377 1230">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1262 849 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1822 834 1860">500 μm</p>	<p data-bbox="875 1262 1411 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1377 1860">250 μm</p>

Sondaje

DDH17-GR-03

Muestra

M7

Observaciones macroscópicas

La roca presenta alteración de feldespato potásico y sílice (Ksil) en toda la matriz, posterior cloritización y estructuras de anfíboles secundarios y calcopirita. Se observa magnetita diseminada en roca de caja.

Observaciones microscópicas

Alteración de feldespato potásico afectando a toda la matriz, posterior alteración de clorita férrica y magnésiana cortada por una veta de potencia de 5mm de anfíboles secundarios en los bordes y calcopirita en el centro.
Cristales de pirita de 0.8mm con intromisión de calcopirita.

Fotografía macroscópica



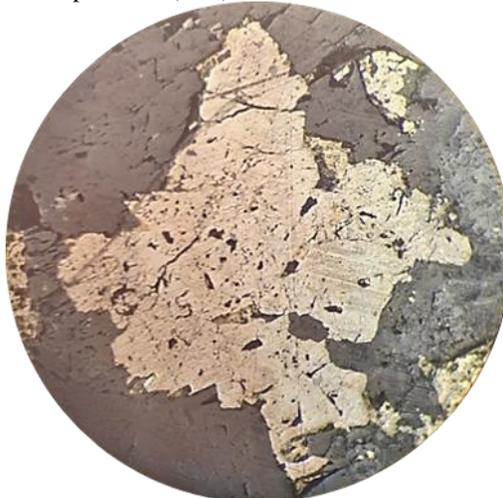
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales de 4mm con leve alteración a feldespato potásico interceptados por veta de anfíboles secundario; 1%
Alteración	Anfíboles	Anfíboles secundarios (Hornblenda) en paredes de veta de espesor de 1 a 5mm; 4%
	Feldespato potásico	Alteración en matriz de roca y en cristales de plagioclasa; 30%
	Epidota	Variedad pistacita relleno de espacios de matriz; 5%
	Clorita	Alteración de clorita férrica en bordes de veta de anfíboles; 10%
	Cuarzo secundario	Cristales de grano fino, diseminados por toda la roca de caja; 40%
	Piroxeno	Forman parte de los bordes de la vetilla, como cristales subhedrales de entre 1 a 2 mm; 1%
Mena	Calcopirita	Mineralización en centro de veta espesor 5 mm; 3%
	Pirita	Mineralización muy escasa acompañando a calcopirita; 2%
	Magnetita	Cristales muy finos y diseminados por la roca; 4%

Vetillas y microtexturas

Alteración masiva de feldespato potásico y cuarzo cortado por una veta de anfíboles secundarios en las paredes de la veta y cristales de calcopirita y pirita.
Veta de anfíboles secundarios mineralizados con calcopirita cortan a una veta de anfíboles y cuarzo desplazándola.

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa 2) Feldespato potásico 3) Piroxeno 4) Magnetita 5) Clorita-Epidota 6) Pirita I 7) Calcopirita 8) Anfíboles secundarios 9) Cuarzo secundario

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 577 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 577 1250 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="308 634 852 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="870 634 1414 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1186 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="308 1264 852 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1816 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="870 1264 1414 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1816 1380 1858">250 μm</p>

Sondaje

DDH17-GR-03

Muestra

M8

Observaciones macroscópicas

Roca de caja afectada por una alteración intensa de cuarzo secundario masivo y feldespato potásico diseminado y en vetillas y precipitación de cristales de piroxeno acompañados de clorita y epidota en bandas.

Se observa una veta de 0.6mm de espesor compuesta de feldespato potásico como halo y en el centro mineralización de calcopirita

Observaciones microscópicas

Evento de Ksil temprano en la roca posterior a evento de magnetita que la percoló.

Clorita y epidota (pistacita) en bandas sobre sílice.

Mineralización de calcopirita asociada a veta de feldespato potásico.

Fotografía macroscópica



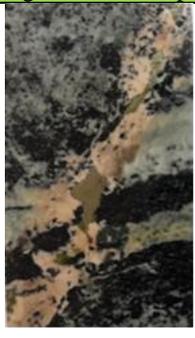
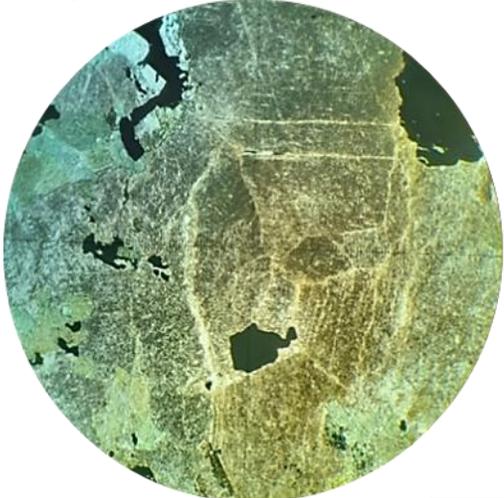
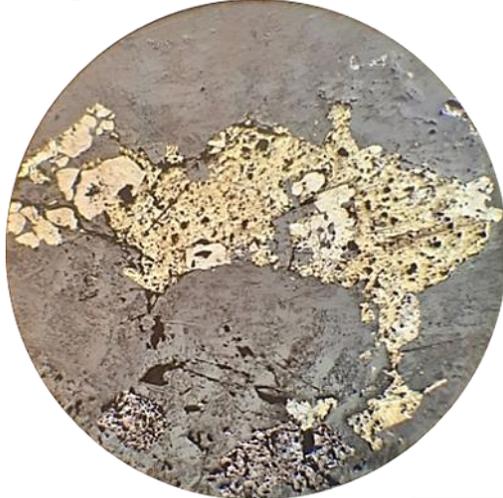
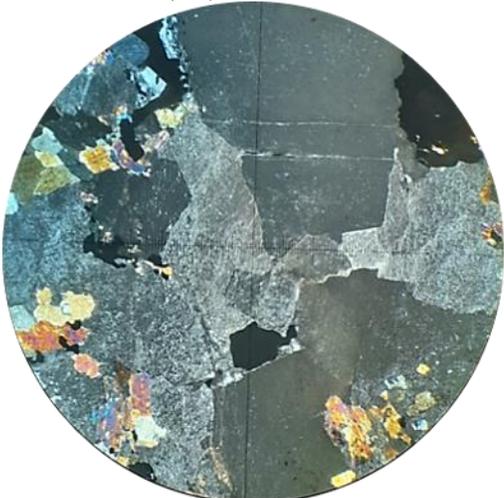
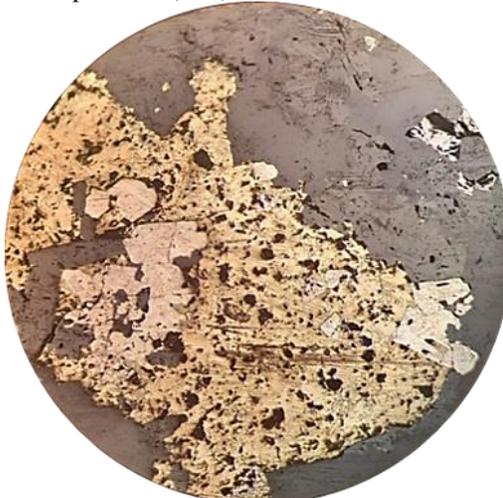
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales cortados por veta de feldespato potásico de 4mm; 2%
Alteración	Cuarzo secundario	Alteración diseminada por la roca de caja; 40%
	Clorita	Leve ocurrencia; 8%
	Piroxeno	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 1.1 mm; 3%
	Epidota	Diseminados sobre cuarzo secundario y rellenando espacios; 7%
	Feldespato potásico	Vetilla y en matriz; 30%
Mena	Pirita	Mineralización muy escasa; 1%
	Calcopirita	Mineralización en veta de feldespato potásico; 6%
	Magnetita	Mineralización muy escasa; 3%

Vetillas y microtexturas

Roca silicificada de color blanco, cortada por veta de feldespato potásico y mineralización de calcopirita de espesor 6mm, que es interceptada por vetillas de epidota (color negro)

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa 2) Ksil 3) Piroxeno 4) Feldespato potásico 5) Magnetita 6) Clorita 7) Epidota 8) Pirita I 9) Calcopirita 10) Cuarzo secundario

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 573 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1380 1864">250 μm</p>

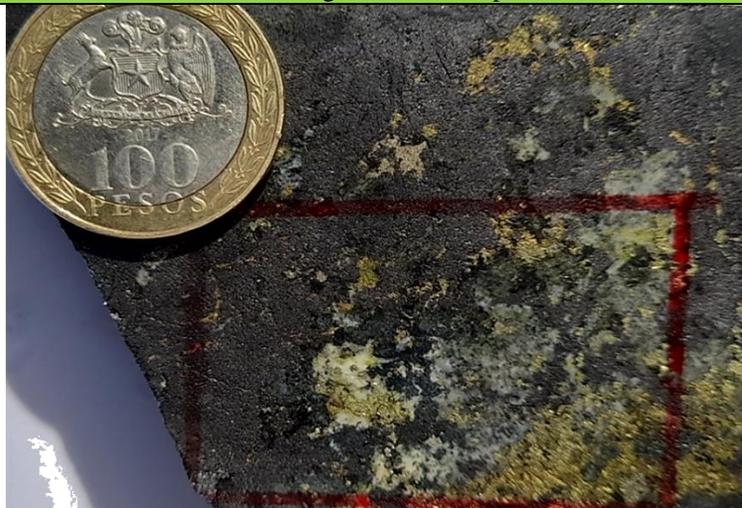
Observaciones macroscópicas

Magnetita masiva, posterior alteración de feldespato potásico – clorita-epidota-cuarzo secundario y actinolita cortados por un evento mineralizador de pirita y calcopirita diseminado.

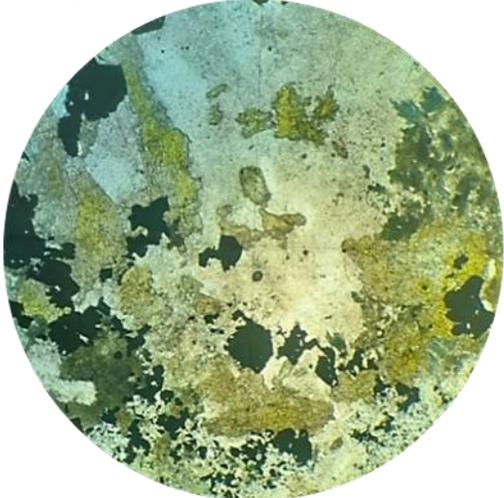
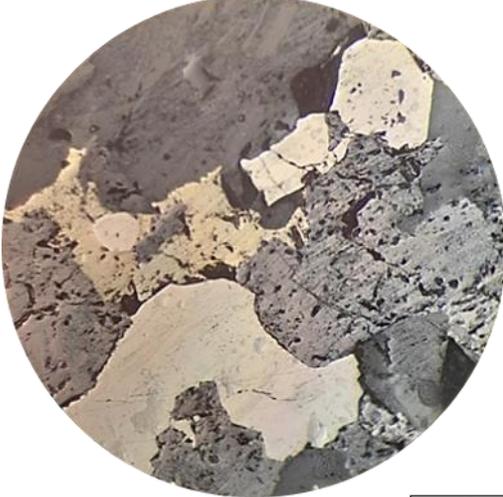
Observaciones microscópicas

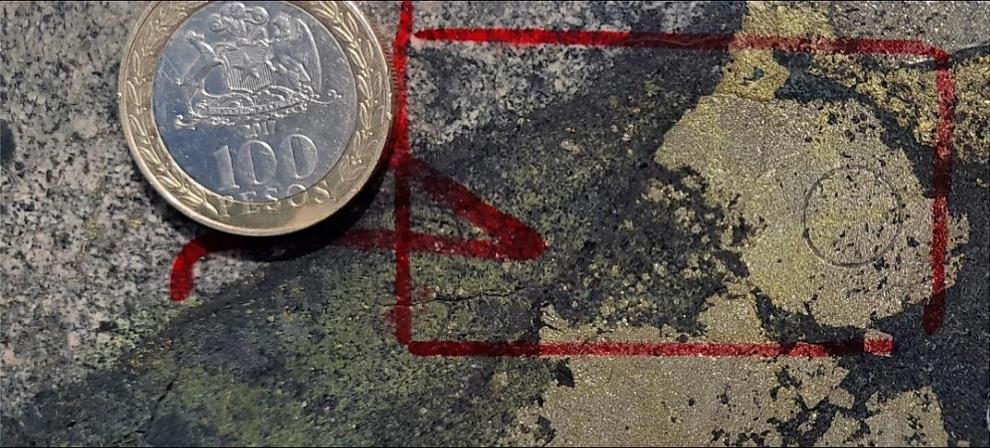
Cristales de plagioclasa subhedrales alterando a feldespato potásico y en sus bordes esta alterado por clorita y epidota.
 Alteración masiva de epidota y clorita con cristales aciculares de actinolita.
 Magnetita masiva en roca de caja y posterior mineralización de calcopirita y pirita.

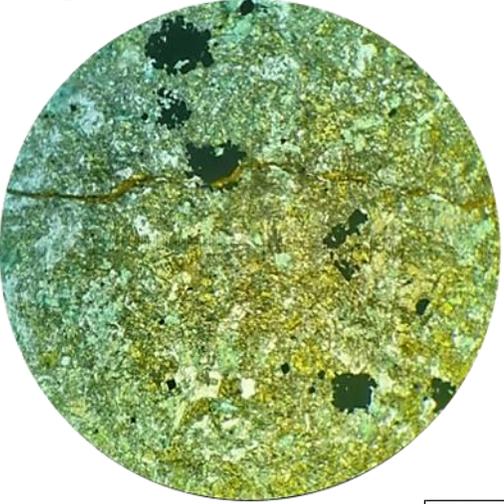
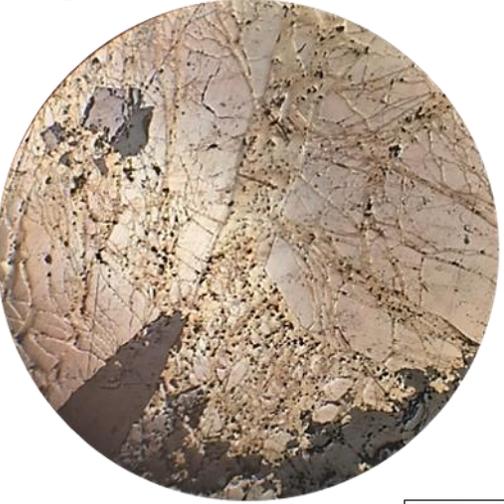
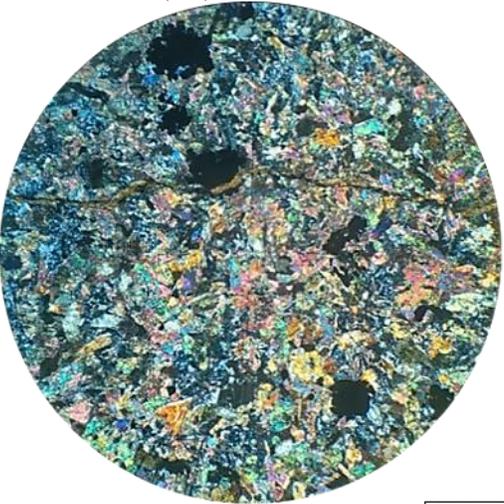
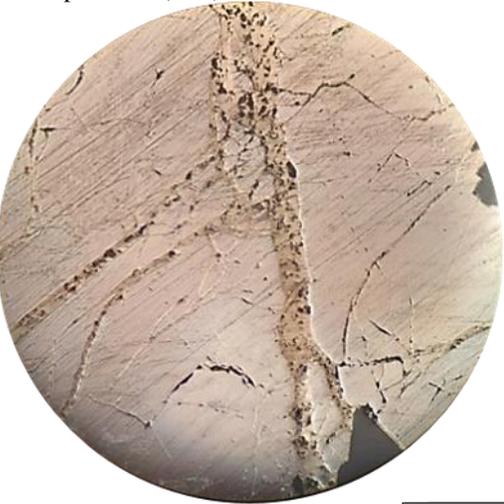
Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales anhedrales de 1mm con inicios de alteración de feldespato potásico y alterado en sus bordes por clorita; 1%
Alteración	Epidota	Variedad pistacita masiva; 28%
	Clorita	Clorita férrica y magnesiana en baja cantidad; 10%
	Feldespato potásico	Alteración masiva en roca de caja; 21%
	Actinolita	Cristales aciculares posterior a alteración de clorita y epidota; 5%
	Cuarzo secundario	Cristales muy finos diseminados por la roca de caja; 5%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de 0.5 a 1mm de tamaño; 5%
	Calcopirita	Mineralización diseminada posterior a pirita; 10%
	Magnetita	Mineralización diseminada; 15%
Vetillas y microtexturas		
No se reconocen vetillas o microtexturas.		
Relaciones cronológicas		
1) Plagioclasa 2) Feldespato potásico 3) Magnetita 4) Cuarzo secundario 5) Clorita 6) Epidota 7) Actinolita 8) Pirita I 9) Calcopirita 10) Calcita		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 600">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 573 1258 600">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 632 854 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="876 632 1417 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1307 1186 1388 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 854 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1820 836 1869">500 μm</p>	<p data-bbox="876 1266 1417 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1307 1820 1388 1869">250 μm</p>

Sondaje	DDH17-GR-03	Muestra	M20
Observaciones macroscópicas			
Roca de caja con clastos de magnetita, alterada por evento de feldespato potásico masivo, en contacto con alteración de clorita y epidota La alteración de clorita y epidota trae la mineralización de pirita y calcopirita.			
Observaciones microscópicas			
Alteración de epidota de grano fino y clorita diseminado en toda la roca. Cristales de actinolita posteriores a epidota. Mineralización de cristales subhedrales de pirita de gran tamaño (1-2,5mm), cortados por calcopirita en textura de penetración guiada en fracturas de piritas.			
Fotografía macroscópica			
			
	Minerales	Descripción	
Formadores de roca		No reconocible por las alteraciones y mineralización.	
Alteración	Epidota	Cristales muy finos de pistacita sobre feldespato potásico; 22%	
	Clorita	Posterior a kfs, variedad férrica: 8%	
	Actinolita	Cristales aciculares posteriores a epidota; 1%	
	Feldespato potásico	Alteración diseminada por la roca de caja; 20%	
	Cuarzo secundario	Vetillas tardías cortando todos los eventos; 4%	
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de gran tamaño; 18%	
	Calcopirita	Mineralización masiva cortando a pirita; 17%	
	Magnetita	Mineralización diseminada en roca de caja; 10%	
Vetillas y microtexturas			
Vetillas finales de cuarzo secundario.			
Relaciones cronológicas			
1) Feldespato potásico-sílice 2) Magnetita 3) Clorita 4) Epidota 5) Actinolita 6) Pirita I 7) Calcopirita 8) Cuarzo secundario			

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 573 1258 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 636 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="878 636 1414 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1192 1385 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 849 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="878 1266 1414 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1822 1385 1864">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Bandas de feldespato potásico, sílice (ksil) y magnetita cortada por zona de clorita, epidota y calcopirita
 Vetillas de magnetita y pirita cortando a la alteración de feldespato potásico.

Observaciones microscópicas

Masa afanítica de cuarzo, clorita férrica y pistacita.
 Cristales de hornblenda secundaria asociados a clorita.
 Magnetita diseminada por toda la roca de caja.
 Cristales de pirita subhedral de tamaño 0.5mm con fracturas provocadas por intromisión de calcopirita.

Fotografía macroscópicas



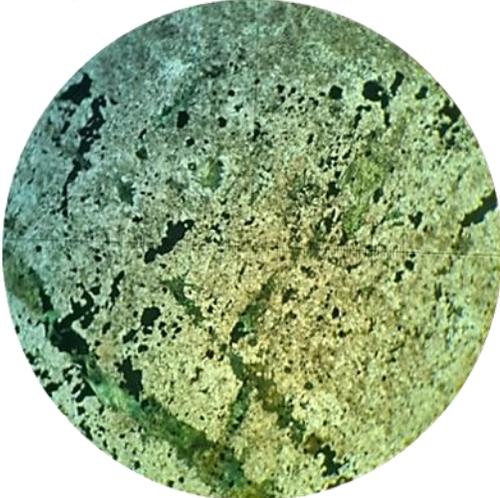
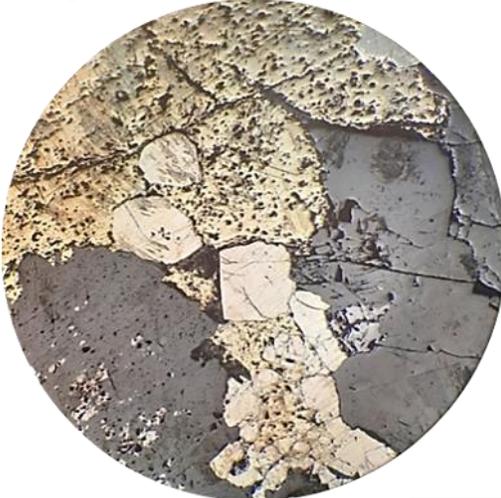
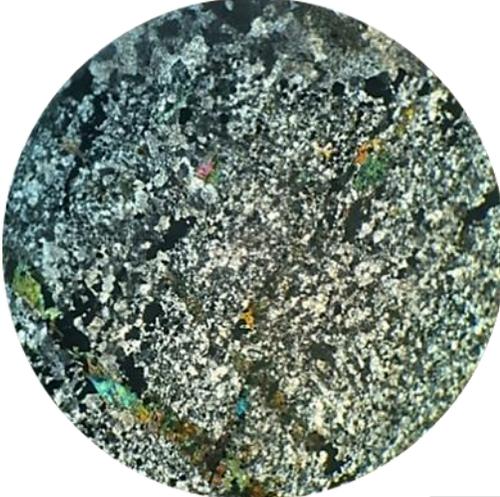
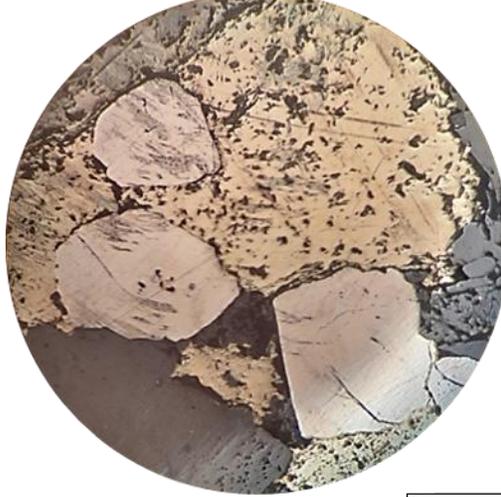
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Clorita	Férrica y magnésica relleno de espacios; 12%
	Cuarzo secundario	Cristales muy finos diseminados en la roca; 10%
	Epidota	Pistacita de grano muy fino asociada a la clorita; 8%
	Piroxeno	Cristales subhedrales entre 0.2 a 0.5; 1%
	Feldespato potásico	Alteración presente en toda la roca; 18%
Mena	Anfíbol	Hornblenda de 1 a 3 mm; 4%
	Pirita	Cristales subhedrales de tamaño entre 0.1 a 0.5mm; 5%
	Calcopirita	Mineralización diseminada posterior a pirita; 20%
	Magnetita	Diseminada en roca de caja; 22%

Vetillas y microtexturas

Vetillas de cuarzo tardío

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Feldespato potásico 3) Cuarzo secundario 4) Clorita 5) Epidota 6) Anfíbol 7) Piroxeno 8) Pirita I 9) Calcopirita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="604 571 685 592">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1167 571 1248 592">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 634 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="760 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 634 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1375 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1264 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="760 1831 836 1873">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1264 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1831 1375 1873">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca de caja magnetizada, posterior alteración de feldespato potásico y sílice, clorita-epidota y actinolita, seguidos de un evento mineralizador de pirita y calcopirita. Toda la roca es cortada por un evento final de vetas de anhidrita con halo leve de epidota.

Observaciones microscópicas

Alteración de ksil afectando a roca de caja. Posterior evento de clorita y epidota que brechizó a la roca. Veta de anhidrita indicando nivel de enriquecimiento, evento más tardío. Mineralización de magnética asociada a pirita y calcopirita posterior.

Fotografía microscópica



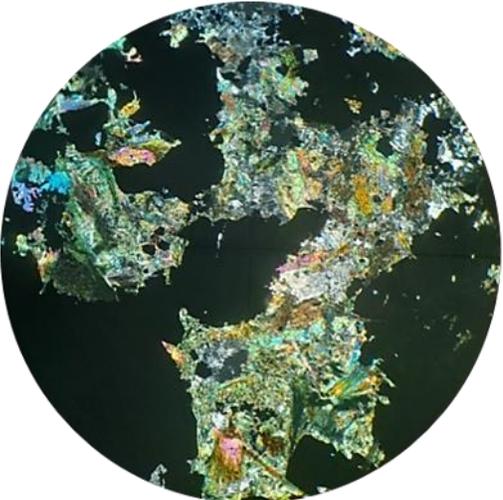
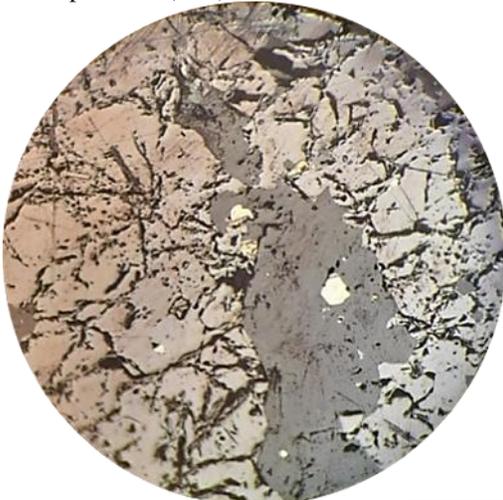
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a la mineralización y alteraciones
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales afaníticos; 8%
	Feldespato potásico	Cristales diseminados en roca de caja; 10%
	Clorita	Rellenando espacio clorita férrica y magnesiana; 3%
	Epidota	Pistacita asociada a clorita; 4%
	Anhidrita	Vetilla de 18mm de grosor, apareciendo en una etapa muy tardío de la roca; 20%
	Actinolita	Cristales aciculares en veta, posteriores a clorita y epidota; 20%
Mena	Pirita	Mineralización diseminada de tamaño 0.1 a 1mm; 9%
	Calcopirita	Mineralización diseminada y escasa; 1%
	Magnetita	Mineralización diseminada en roca de caja; 25%

Vetillas y microtexturas

Masa afanítica de feldespato potásico, cuarzo subhedral y epidota en contacto con veta de anhidrita de 18mm de espesor.
 Vetillas de pirita y calcopirita paralela a la dirección de la veta de anhidrita.
 Veta de anhidrita es el último evento que corta la roca.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Epidota 4) Actinolita 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Anhidrita 8) Cuarzo secundario

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="602 569 678 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1166 569 1242 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 833 1230">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1302 1188 1378 1230">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 833 1860">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1302 1818 1378 1860">250 μm</p>

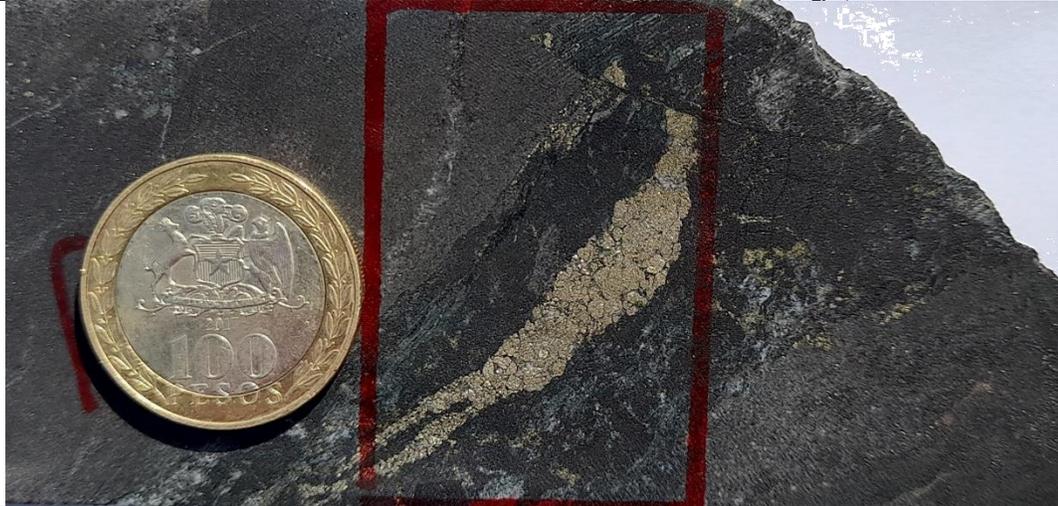
Observaciones macroscópicas

Roca de caja alterada por clorita diseminada y en vetillas asociada a epidota. Posterior mineralización de calcopirita y pirita en veta. Veta de calcita corta a la roca mineralizada.

Observaciones microscópicas

Veta de epidota (pistacita) y clorita férrica sobre matriz de magnetita.
 Cristales de calcita en bordes y sobre pirita.
 Cristales de calcopirita sobre cristales subhedrales de pirita.
 La mineralización de pirita se asocia a una veta de clorita epidota y magnetita.

Fotografía macroscópica



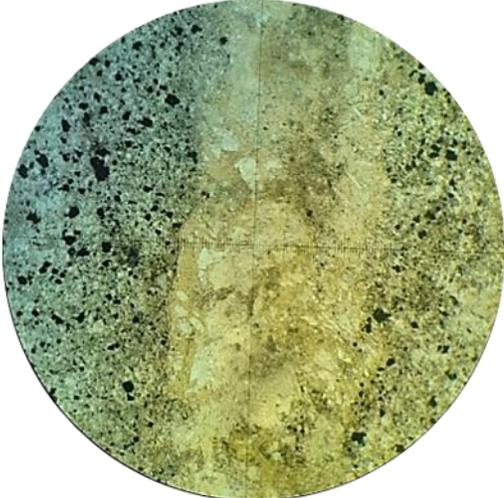
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Calcita	Modo de ocurrencia en vetillas cortando a pirita y rellenando intersticios en alteraciones; 10%
	Cuarzo secundario	Cristales afaníticos, diseminados en toda la roca (evento de silicificación); 30%
	Clorita	Se manifiesta como una alteración diseminada y como una vetilla de 0.1 mm de espesor; 12%
	Epidota	Cristales de pistacita asociada a clorita; 10%
Mena	Pirita	Mineralización con orientación definida dentro de veta de magnetita y calcita; 15%
	Calcopirita	Mineralización posterior a pirita; 5%
	Magnetita	Mineralización masiva que abarca gran parte de la roca; 18%

Vetillas y microtexturas

Veta de calcita y magnetita con cuarzos y epidotas menor a 0.1 mm las epidotas que se ven
 Calcitas rellenando espacios de cristales de pirita.
 Vetilla sinuosa de calcita de espesor 1mm.
 Vetilla de pirita, clorita y epidota de espesor de 20mm.
 Se observa una falla que desplaza la veta de pirita, clorita y epidota.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Epidota 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Cuarzo secundario 7) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 573 1258 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 636 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 636 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1266 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1266 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1380 1864">250 μm</p>

Sondaje

DDH17-MC-18

Muestra

M8

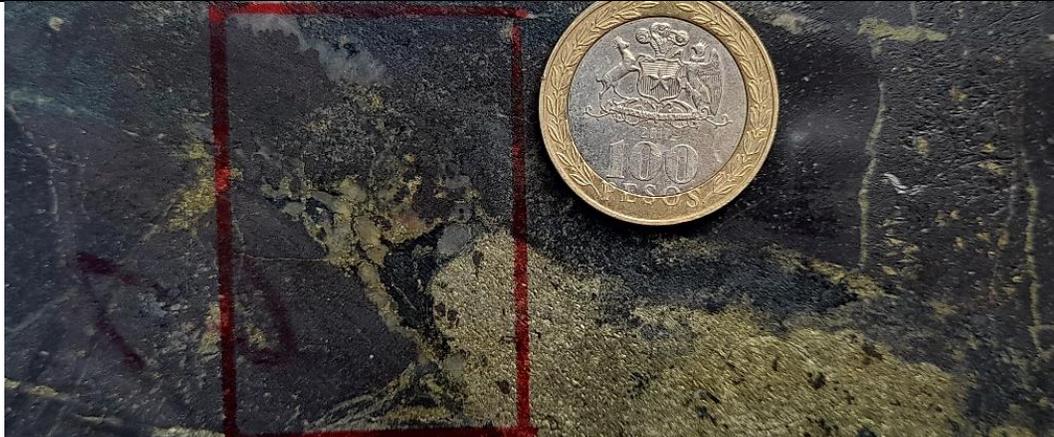
Observaciones macroscópicas

Roca percolada por magnetita diseminada y alteración moderada de ksil, posterior alteración intensa de clorita y epidota, evento mineralizador de pirita y calcopirita con clastos de magnetita.

Observaciones microscópicas

Masa afanítica de cuarzo y feldespato potásico, seguido de alteración de epidota de grano muy fino (pistacita) diseminado por la roca y clorita (férrica) en bordes de minerales de mena. Mineralización diseminada de calcopirita y en múltiples vetillas asociada a la alteración de epidota.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales de 1mm levemente alterado por kfs; 1%
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales muy finos de 0.1 a 1mm; 45%
	Clorita	Alteración diseminada; 12%
	Piroxeno	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 0.8 mm, interceptando el cuarzo secundario; 5%
	Feldespato potásico	Alteración leve alterando a plagioclasa; 4%
	Epidota	Masa afanítica de pistacita asociada a la clorita; 15%
Mena	Calcopirita	Mineralización masiva posterior a pirita; 8%
	Pirita	Aparece interceptando a la calcopirita como pequeños cristales; 1%
	Magnetita	Mineralización diseminada por toda la roca; 9%

Vetillas y microtexturas

Alteración diseminada de feldespato potásico y sílice (ksil) cortado por alteración de clorita y epidota que traen la mineralización de calcopirita. Múltiples vetillas de calcopirita y pirita de 0.5 a 4mm cortando a zona de magnetita masiva.

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa 2) Piroxeno 3) Feldespato potásico 4) Magnetita 5) Clorita 6) Epidota 7) Cuarzo secundario 8) Pirita I 9) Calcopirita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="613 573 695 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 573 1252 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 636 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 837 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="875 636 1411 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1188 1380 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1266 849 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 837 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="875 1266 1411 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1818 1380 1864">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Textura tipo bastones relleno de calcopirita y pirita y en sus bordes magnetita.
Matriz de brecha hidrotermal, roca de caja magnetizada y con alteración moderada de clorita y epidota, cortada por la mineralización de cristales alargados de calcopirita y pirita.
Vetillas tardías de calcita.

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca silicificada con alteración de pistacita y clorita posteriores.
Pirita con textura de inclusión de epidota sobre esta.
Pirita y calcopirita en textura de bastones en sus bordes rodeando en anillo y en penetración guiada de magnetita y alteración de epidota.

Fotografía macroscópica



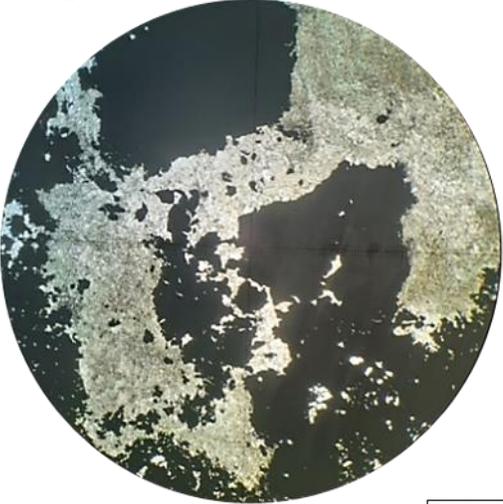
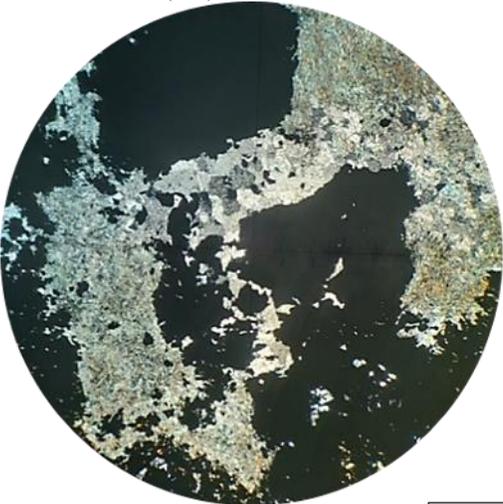
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones
Alteración	Calcita	Cristales que rellenan intersticios; 5%
	Cuarzo secundario	Evento de silicificación temprano de la roca; 10%
	Epidota	Cristales aciculares de pistacita formando una masa; 15%
	Clorita	Férrica y magnésica en igual proporción Alteración de intensidad moderada; 10%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de tamaño 0.5 a 2mm; 20%
	Calcopirita	Mineralización posterior a pirita I; 25%
	Magnetita	Mineralización en matriz de roca además en los bordes de las menas de pirita y calcopirita; 15%

Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas.
Textura de exsolución en pirita, presencia de pistacita sobre ella.
Textura de bastones de mineralización de sulfuros con borde de clorita.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Clorita 3) Epidota 4) Cuarzo secundario 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 569 688 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 569 1252 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 636 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1192 837 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 636 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1192 1385 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1266 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1822 837 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1266 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1304 1822 1385 1864">250 μm</p>

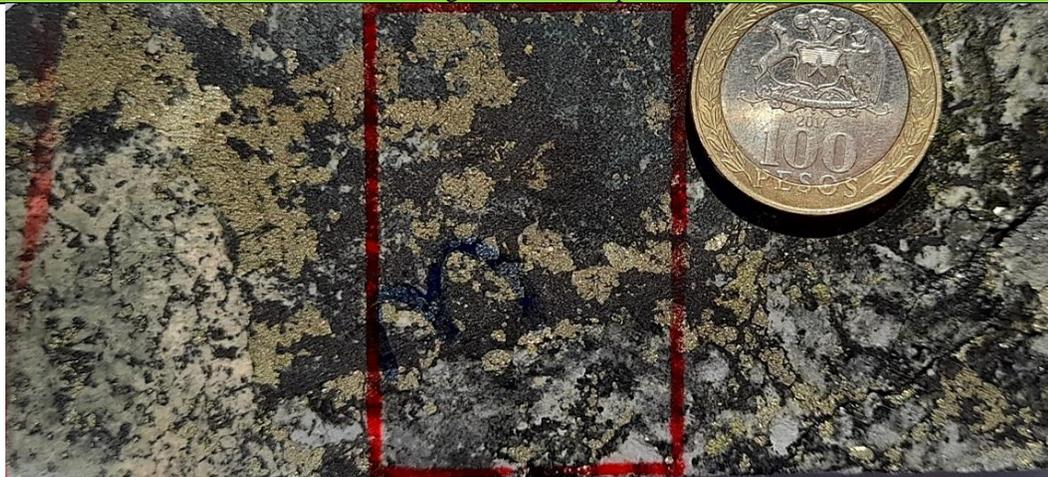
Observaciones macroscópicas

Roca con alteración pervasiva de magnetita, se observa posteriormente un clasto de feldespato potásico, cortado por alteración intensa de clorita y epidota.
 La mineralización se asocia a magnetita, pirita y trazas de calcopirita en vetillas y evento de clorita, pirita y trazas de calcopirita diseminados. Vetilla tardía de calcita.

Observaciones microscópicas

Ocurrencia de clorita y epidota (pistacita) diseminados en la roca posteriores a alteración de feldespato potásico.
 Veta de calcita con cuarzo con alteración a pistacita en los bordes.
 Mineralización de magnetita cortada por cristales subhedrales de pirita. Posterior evento de calcopirita en muy baja cantidad interceptado por cristales de mushketovita.

Fotografía macroscópica



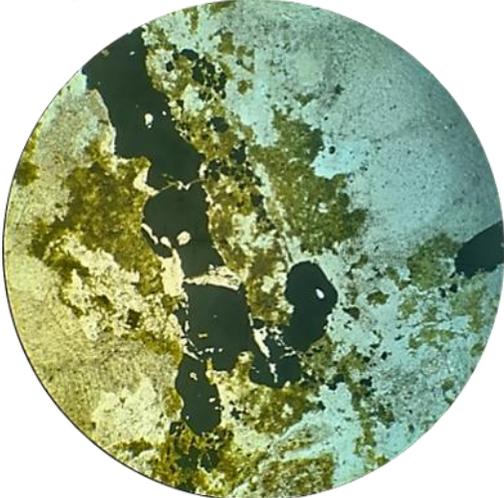
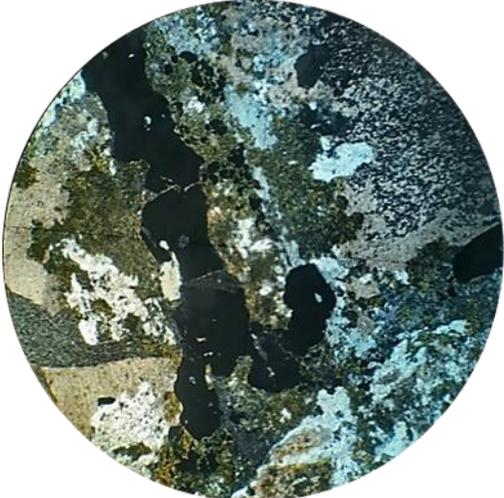
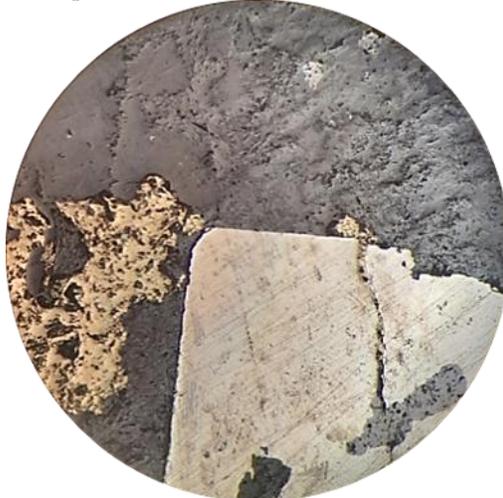
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 0.8 mm masivo; 17%
	Clorita	Alteración diseminada en matriz; 14%
	Epidota	Cristales de pistacita asociados a la clorita; 10%
	Feldespato potásico	Masiva en roca de caja; 15%
Mena	Calcita	En vetillas con cuarzo y rellenando intersticios; 8%
	Pirita	Cristales subhedrales a anhedrales de 0-5 a 2mm; 16%
	Calcopirita	Escasa ocurrencia posterior a pirita; 6%
	Magnetita	Mineralización diseminada en roca de caja; 12%
	Mushketovita	Mineralización que corta a cristales de calcopirita.; 2%

Vetillas y microtexturas

Vetillas de cuarzo secundario sobre alteración de clorita y epidota.

Relaciones cronológicas

1) Feldespato potásico 2) Cuarzo 3) Magnetita 4) Clorita 5) Epidota 6) Pirita I 7) Calcopirita 8) Mushketovita 9) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="604 569 685 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 569 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1264 850 1320">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1827 836 1862">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1264 1412 1320">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1827 1380 1862">250 μm</p>

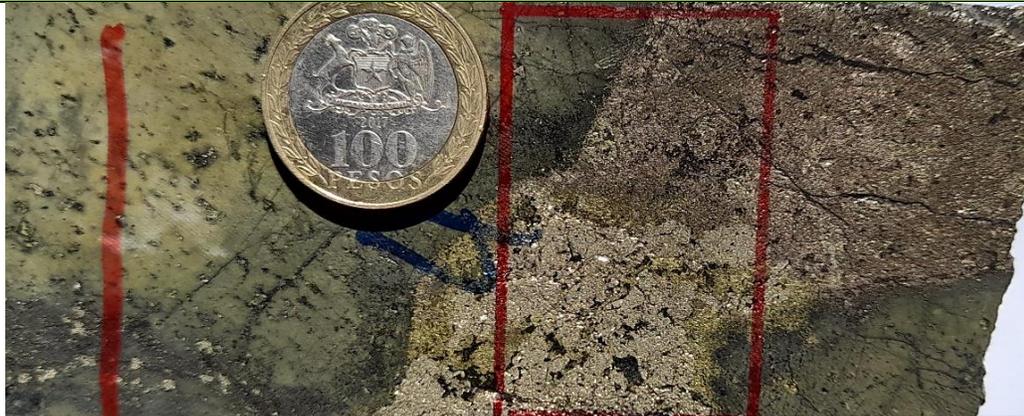
Observaciones macroscópicas

Roca de caja no reconocible alterada de manera intensa por cuarzo secundario (silicificación), clorita y epidota de manera masiva, posterior evento mineralizador de pirita y calcopirita en vetas, dentro de esta veta se observa una transformación de pirita en adición a magnetita originando pirrotina.

Observaciones microscópicas

Cristales menores a 0.1mm de piroxeno sobre alteración de feldespato potásico a roca de caja. Veta mineralizada de matriz magnetita y pirita con cristales de calcopirita en penetración guiada al centro, además se observa presencia de pirrotina, lo cual indica una transformación de pirita y magnetita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
	Cuarzo secundario	Cristales anhedrales de entre 0.1 a 0.3 mm precipitando en conjunto con la clorita; 9%
	Clorita	Alteración masiva y diseminada por la muestra, precipitando en conjunto con el cuarzo secundario; 15%
	Epidota	Alteración masiva asociada a la clorita; 10%
	Feldespato potásico	Alteración diseminada en roca de caja; 20%
	Piroxeno	Ortopiroxeno menores a 0.1mm; 1%
	Óxidos de hierro	Jarosita y goetita, diseminada en los intersticios cercanos a las menas; 5%
Mena	Pirrotina	Transformación de pirita más magnetismo; 15%
	Pirita	Mineralización en veta de cristales subhedrales; 12%
	Calcopirita	Mineralización posterior a pirita; 8%
	Magnetita	Mineralización pervasiva en roca de caja; 5%
Vetillas y microtexturas		
Mineralización de pirita, calcopirita en fracturas de pirita y pirrotina sobre cristales de calcopirita en veta de espesor 10 a 30mm, halo de la veta corresponde a clorita.		
Relaciones cronológicas		
1) Feldespato potásico 2) Epidota 3) Magnetita 4) Clorita 5) Cuarzo secundario 6) Pirita I 7) Calcopirita 8) Pirrotina 9) Goetita y jarosita		

Fotografía sección transparente



0.65 mm

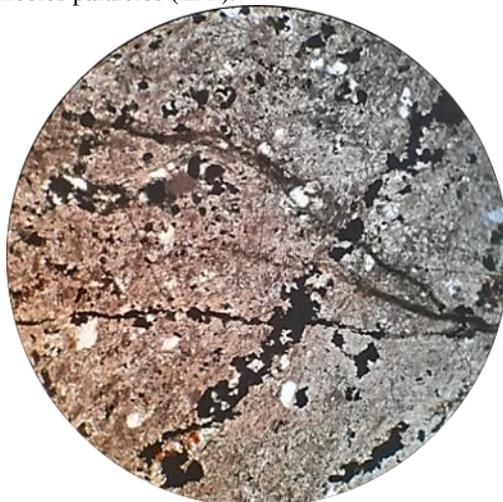
Fotografía sección pulida



0.65 mm

Microfotografías sección transparente

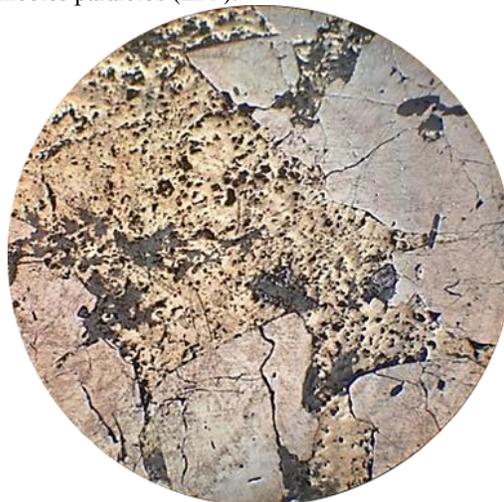
Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles paralelos (LPP).



500 μm

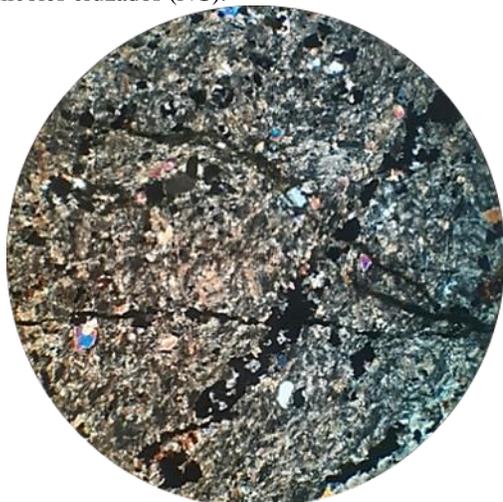
Microfotografías sección pulida

Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicoles paralelos (LPP).



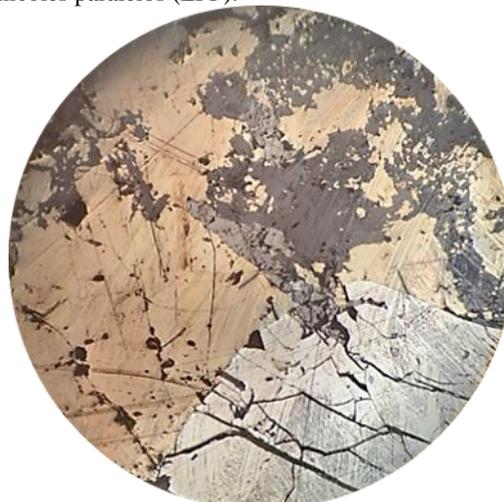
500 μm

Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles cruzados (NC).



500 μm

Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicoles paralelos (LPP).



250 μm

Observaciones macroscópicas

No se reconoce la litología de roca de caja, debido a una alteración inicial de cuarzo y clorita que brechizó a la roca, posterior evento mineralizador de gran proporción de pirita masiva de cristales subhedrales y posterior ocurrencia de calcopirita y cristales aciculares de actinolita sobre las menas. Textura de brecha hidrotermal.

Observaciones microscópicas

Masa afanítica de cuarzo alterando a roca de caja.
 Vetillas de calcita con alteración de pistacita y clorita en sus bordes y cristales de actinolita cortándolas.
 Mineralización de pirita diseminada en gran porcentaje y cristales de gran tamaño (~3mm).
 La mineralización se asocia al evento de clorita y epidota.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Masa afanítica sobre roca de caja; 6%
	Epidota	Variedad pistacita, asociada a clorita diseminada y alterando a vetas de calcita; 15%
	Calcita	En vetas con cristales de actinolita sobre estas; 3%
	Actinolita	Cristales aciculares, diseminados de tamaño 0.1 a 1mm; 4%
	Clorita	Alteración de intensidad débil; 7%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales 0.5 a 3mm; 40%.
	Calcopirita	Mineralización que es interceptada por actinolita.; 15%
	Magnetita	Mineralización diseminada anterior a cristales de pirita; 10%

Vetillas y microtexturas

Cristales de pirita cortados por una vetilla de magnetita y calcopirita.
 Cristales de actinolita sobre vetilla de calcita.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Cuarzo secundario 3) Pirita I 4) Clorita 5) Epidota 6) Actinolita 7) Calcopirita 8) Calcita

Fotografía sección transparente



0.65 mm

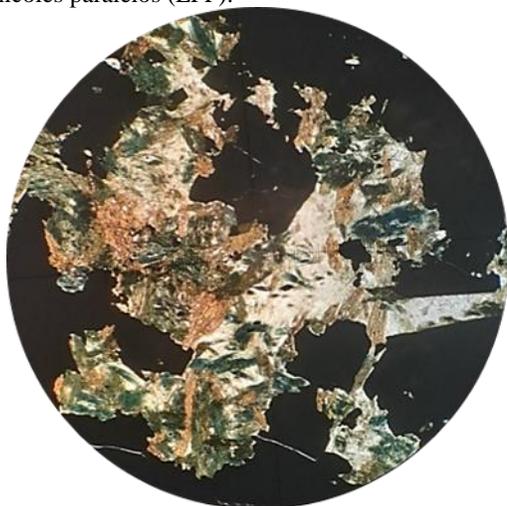
Fotografía sección pulida



0.65 mm

Microfotografías sección transparente

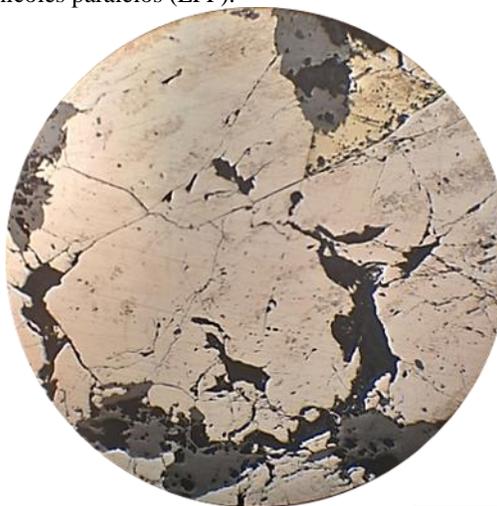
Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).



500 μm

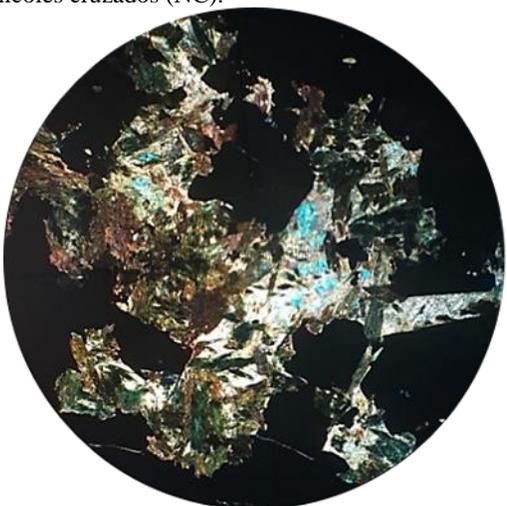
Microfotografías sección pulida

Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).



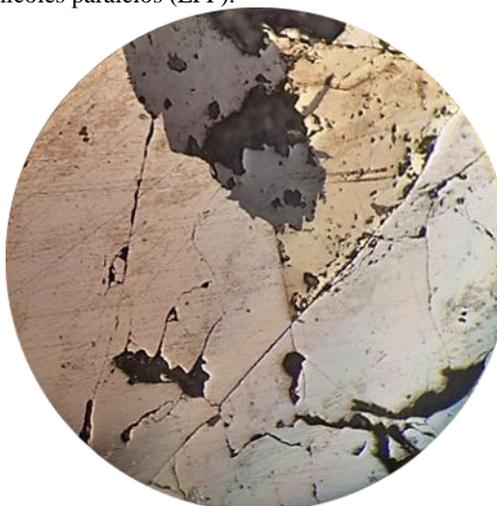
500 μm

Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).



500 μm

Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).



250 μm

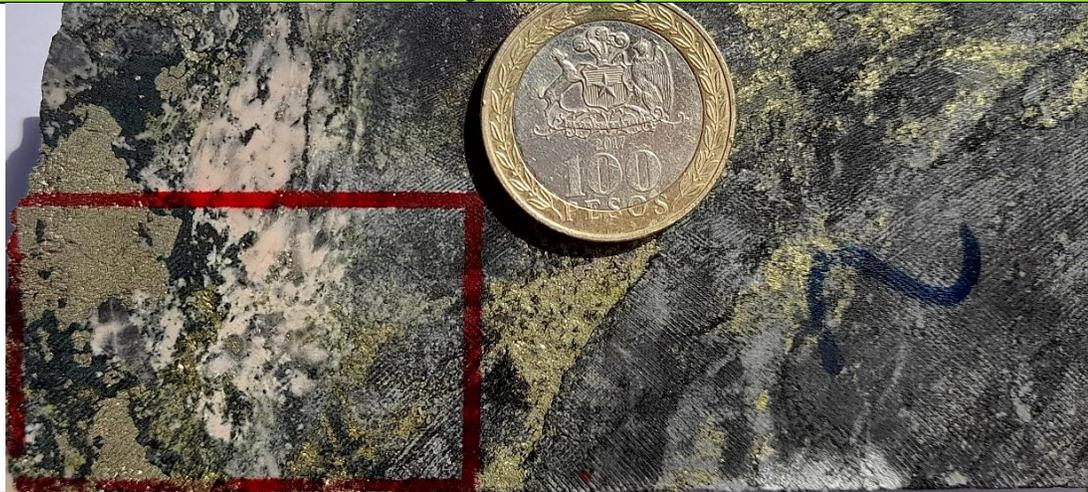
Observaciones macroscópicas

Roca de caja alterada por silicificación y feldespato potásico, posterior alteración intensa y diseminada de clorita y epidota que brechizan a la roca. Posterior pulso mineralizador de pirita diseminadas y calcopirita en estructuras que cortan a la zona de Ksil. Modo de ocurrencia brecha hidrotermal.

Observaciones microscópicas

Masa afanítica de cuarzo secundario junto a pistacita y clorita, es cortada por vetas de cuarzo euhedrales y faneríticos.
Cristales de pirita de 1mm aproximadamente con inclusiones de alteración de clorita y epidota, cortada por mineralización de calcopirita.

Fotografía macroscópica



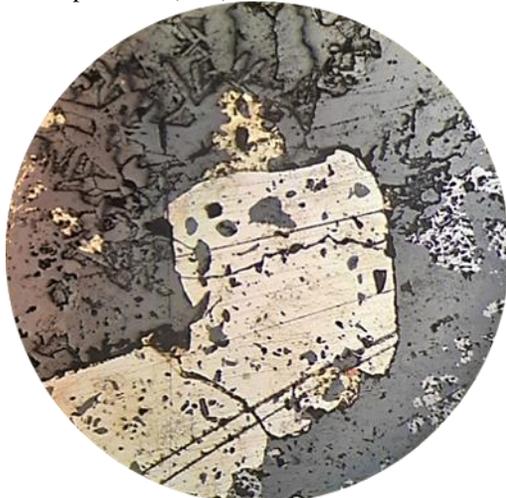
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a alteraciones y mineralizaciones
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales subhedrales de 0.2 a 1.5 mm; 30%
	Epidota	Pistacita asociado a clorita sobre cristales de cuarzo; 8%
	Feldespato potásico	Diseminado sobre roca de caja; 20%
	Clorita	Alteración diseminada, de intensidad débil; 10%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de 0.2 a 1.5mm de tamaño; 15%
	Calcopirita	Mineralización acompañada en estructuras de clorita y cuarzo; 12%
	Magnetita	Mineralización muy escasa, diseminada por la roca; 5%

Vetillas y microtexturas

Vetas de cuarzo secundario en bordes de sulfuros.
Cristales de pirita con alteración de clorita y epidota sobre estos simulando textura de inclusión.

Relaciones cronológicas

1) Feldespato potásico 2) Magnetita 3) Clorita 4) Epidota 5) Pirita I 6) Calcopirita 7) Vetas de cuarzo

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 569 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 569 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1192 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1822 1380 1858">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

No se reconoce la roca de caja.
 Ocurrencia bandeada de magnetita alternada con bandas de sílice, es cortada por una veta y vetillas de pirita y calcopirita.

Observaciones microscópicas

Bandeamiento de magnetita y piroxeno con ojos de cuarzo inmersos en clorita y epidota.
 Cristales de pirita subhedrales con inclusiones de clorita y epidota encima y en sus bordes cristales de magnetita.
 La mineralización de magnetita, pirita y calcopirita está orientada en dirección paralela a las bandas de roca.

Fotografía macroscópica



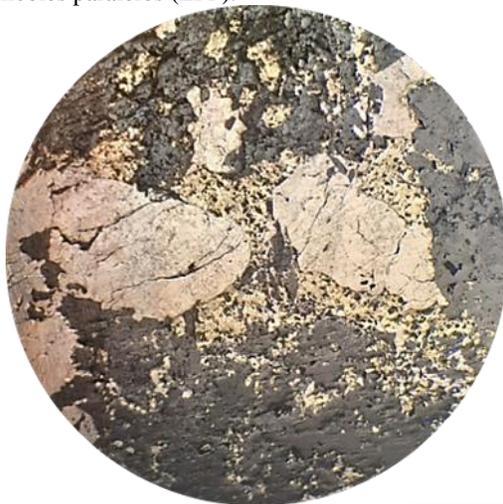
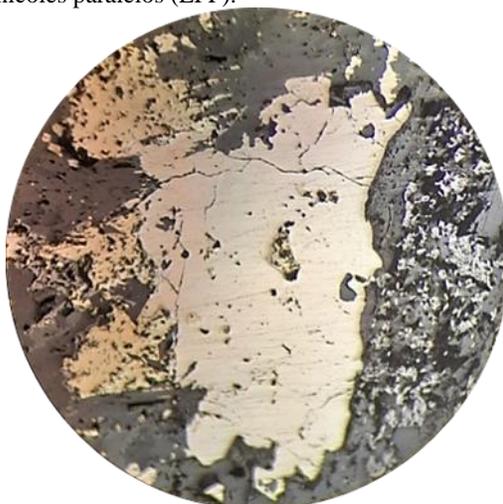
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Epidota	Cristales diseminados de pistacita; 5%
	Cuarzo secundario	Cristales afaníticos menor a 0.1mm diseminados por la muestra; 25%
	Piroxeno	Cristales subhedrales anteriores a las menas; 3%
	Goetita	Alteración que genera bandas paralelas a las menas; 10%
	Clorita	Alteración diseminada por la roca; 13%
Mena	Actinolita	Cristales aciculares posteriores a clorita y epidota; 1%
	Pirita	Cristales subhedrales de 1mm; 18%
	Calcopirita	Mineralización diseminada posterior a pirita; 10%
	Magnetita	Mineralización en bandas; 15%

Vetillas y microtexturas

Bandeamiento de magnetita y alteraciones de cuarzo, clorita y epidota.
 Vetilla de pirita y calcopirita de 15mm de espesor.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Pirita I 3) Calcopirita 4) Clorita 5) Epidota 6) Actinolita 7) Piroxeno 8) Cuarzo secundario 9) Goetita

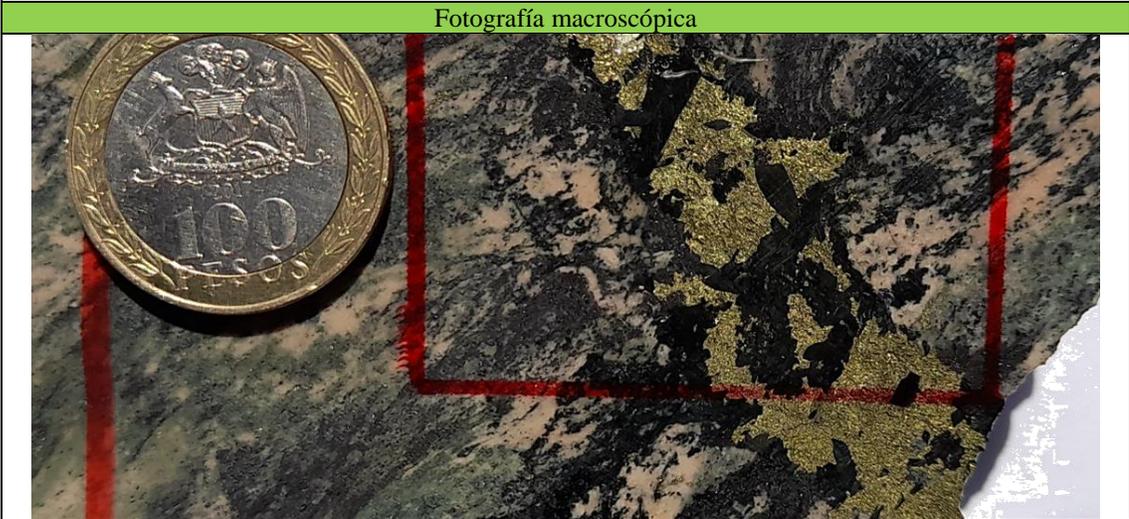
Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 567 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 567 1250 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="308 630 852 693">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="868 630 1412 693">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1186 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="308 1260 852 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1816 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="868 1260 1412 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1816 1380 1858">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca de caja alterada por evento de magnetita pervasiva y feldespato potásico y sílice, posterior alteración de clorita epidota cortada por una veta de anfíboles secundario en las paredes de la veta y pirita, calcopirita en el centro de la veta.

Observaciones microscópicas

Alteración intensa de feldespato potásico masivo en toda la roca, es anterior a alteraciones de clorita, epidota y cuarzo secundario.
Veta de calcopirita con cristales subhedrales de pirita sobre esta, y cristales euhedrales de hornblenda de gran tamaño cortándola.



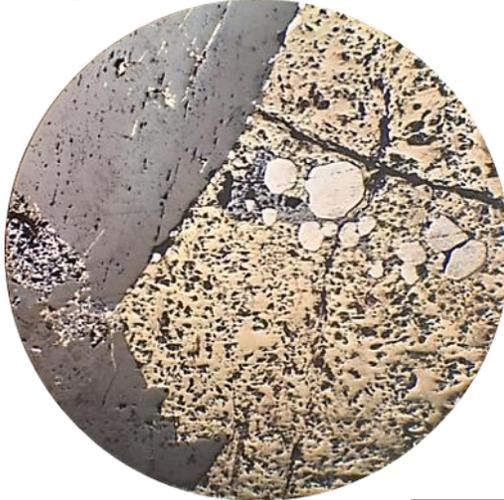
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a las alteraciones y mineralizaciones.
Alteración	Cuarzo secundario	Masa afanítica (~0.2mm) posterior a feldespato potásico; 10%
	Feldespato potásico	Alteración diseminada por toda la roca de caja; 25%
	Clorita	Escasa ocurrencia; 5%
	Epidota	En matriz posterior a feldespato potásico, variedad pistacita; 25%
	Anfíbol	Cristales euhedrales de hasta 1 mm que interceptan a las menas de hornblenda; 7%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales sobre calcopirita; 3%
	Calcopirita	Mineralización en veta anterior a pirita II y cristales de hornblenda; 15%.
	Magnetita	Mineralización en matriz de caja; 10%

Vetillas y microtexturas

Vetilla de espesor 14mm compuesta de calcopirita y cristales de 0.2 a 0.5mm de pirita, interceptada por anfíboles, esta veta corta alteración e feldespato potásico.
Veta e anfíboles secundarios de gran tamaño entre 1 a 4mm asociados a clorita.

Relaciones cronológicas

1) Feldespato potásico 2) Cuarzo secundario 3) Magnetita 4) Clorita 5) Epidota 6) Pirita I 7) Calcopirita 8) Anfíbol

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="602 569 686 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1166 569 1250 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 834 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1411 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1292 1188 1403 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1262 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 834 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1262 1411 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1292 1818 1403 1864">250 μm</p>

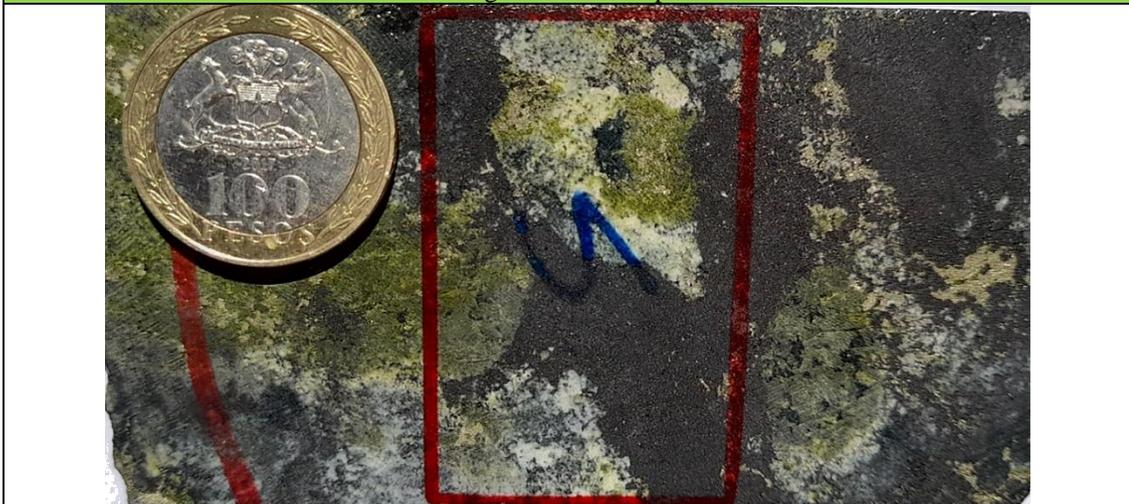
Observaciones macroscópicas

Clastos de roca de caja con alteración intensa de feldespato potásico y clorita en matriz de magnetita. Posterior alteración de epidota y cuarzo. Cristales de pirita asociados a clorita y epidota. Textura de brecha hidrotermal.

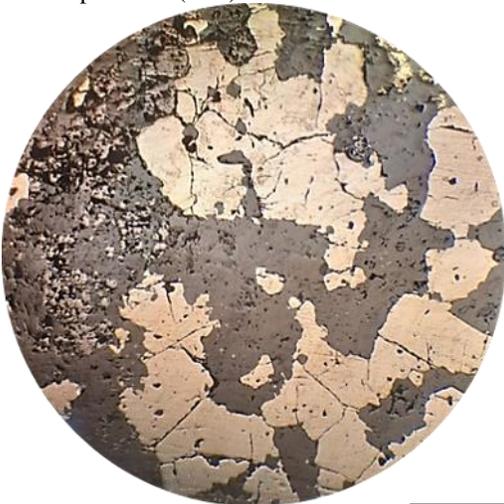
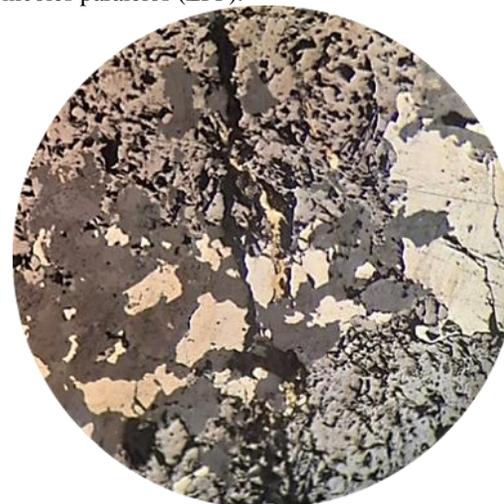
Observaciones microscópicas

Ocurrencia de feldespato potásico y sílice, posterior evento diseminado de clorita y pistacita cortada por una veta de hornblendas secundaria.
Magnetita diseminada en roca de caja cortada por vetillas de calcopirita.
Cristal de pirita reemplazada en bordes (reemplazo en anillo) por calcopirita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Epidota	Pistacitas y zoisitas diseminadas por la muestra; 40%
	Feldespato potásico	Alteración diseminada de manera intensa por la roca; 25%
	Cuarzo secundario	Cristales menores a 0.1mm; 5%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de 0.5mm; 9%
	Calcopirita	Mineralización muy escasa; 1%
	Magnetita	Mineralización diseminada en roca de caja; 20%
Vetillas y microtexturas		
Ocurrencia remplazo en anillo de calcopirita a cristal de pirita. Vetillas de cuarzo secundario cortando a la alteración de epidota.		
Relaciones cronológicas		
1) Feldespato potásico 2) Magnetita 3) Cuarzo secundario 4) Epidota 5) Pirita I 6) Calcopirita		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 575 688 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1175 575 1256 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="315 632 850 684">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 837 1230">500 μm</p>	<p data-bbox="876 632 1412 684">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1292 1188 1373 1230">500 μm</p>
<p data-bbox="315 1262 850 1314">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 837 1860">500 μm</p>	<p data-bbox="876 1262 1412 1314">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1292 1818 1373 1860">250 μm</p>

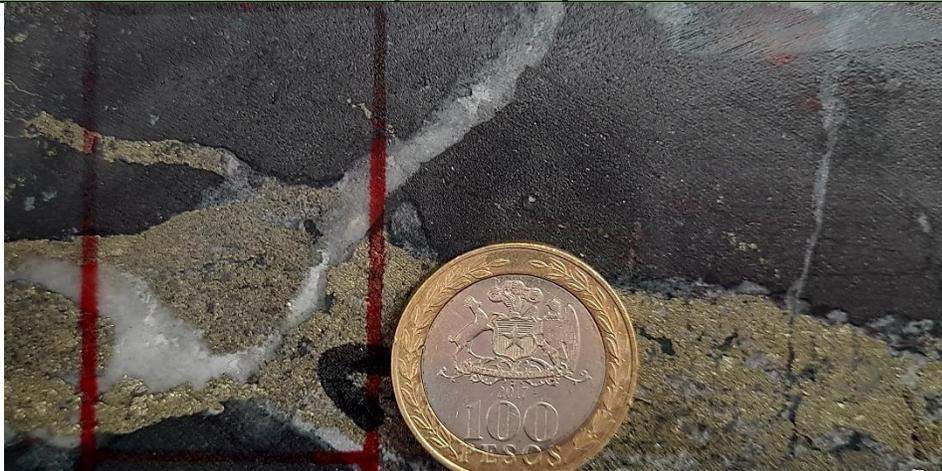
Observaciones macroscópicas

Roca de caja percolada por magnetita (Brecha hidrotermal con matriz de magnetita), posterior alteración de ksil y ocurrencia de veta de paredes sinuosas de calcita y pirita cortando todo.

Observaciones microscópicas

Feldespató potásico masivo en roca de caja posterior a evento de magnetita y cortado por silicificación. Vetilla de cuarzo y calcita de 5mm interceptada por veta de calcita, pirita y calcopirita. Cristales subhedrales de pirita de hasta 3 mm de tamaño en el centro de la veta, en los bordes de la veta los cristales de pirita toman una forma anhedral y fracturados

Fotografía macroscópica



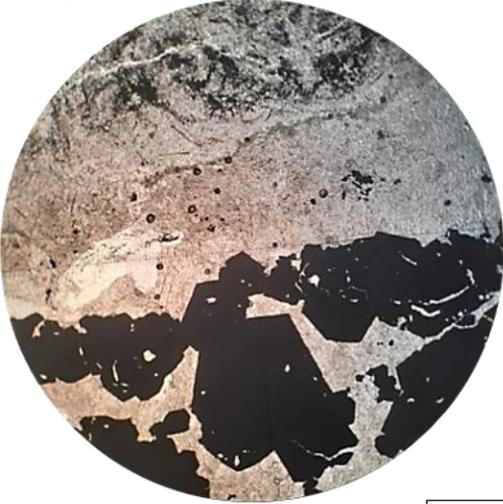
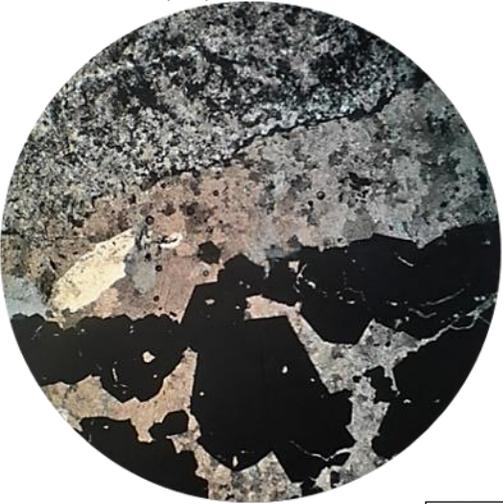
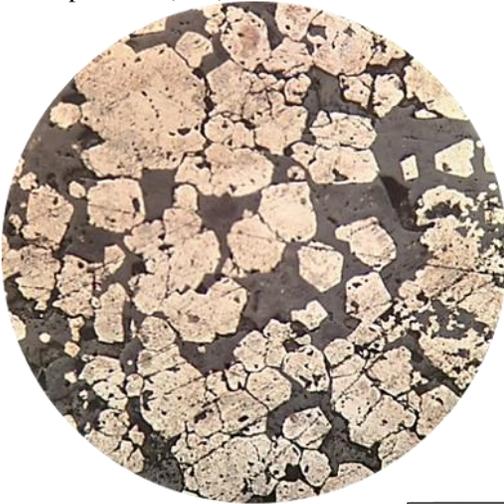
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Cuarzo secundario	Masa afanítica de tamaño aproximado 0.1mm y vetillas con cristales de tamaño 1-3mm, asociadas con calcita y sulfuros; 35%
	Feldespató potásico	Alterando a roca de caja anterior a ocurrencia de cuarzo secundario; 15%
	Calcita	En veta de paredes sinuosas de 20mm; 17%
Mena	Pirita	Cristales de 0.1 a 3mm, mineralización asociada veta de calcita; 30%
	Calcopirita	Escasa ocurrencia en cristales de pirita; 1%
	Magnetita	Mineralización diseminada por la roca de caja; 2%

Vetillas y microtexturas

Veta de 20mm de espesor, asociación de pirita calcopirita y calcita. Calcita relleno los espacios de piritas.

Relaciones cronológicas

1) Feldespató potásico 2) Magnetita 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Cuarzo secundario 6) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 573 1258 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 634 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="873 634 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1192 1382 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1264 850 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1822 836 1864">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1264 1412 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1822 1382 1864">250 μm</p>

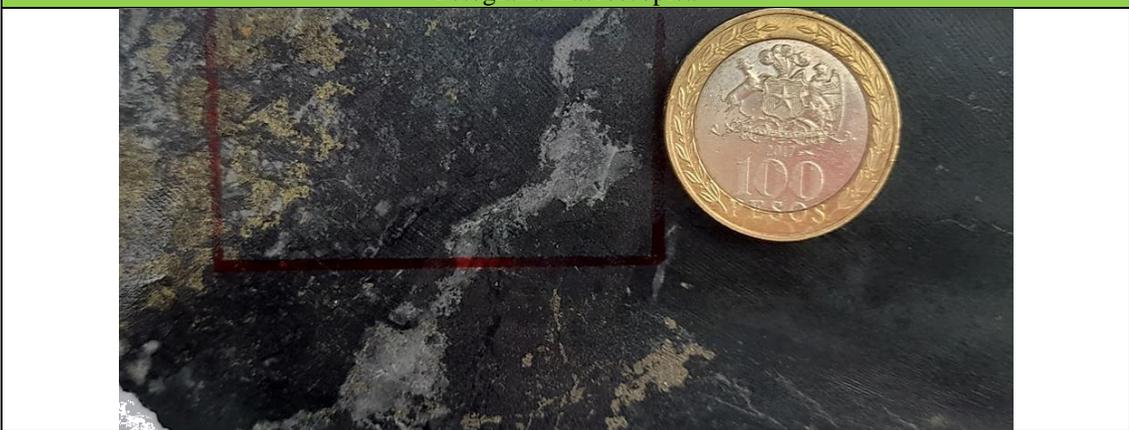
Observaciones macroscópicas

Brecha hidrotermal de matriz de magnetita y clastos de plagioclasas percolados por alteración intensa de clorita y cuarzo-sericita. Posterior ocurrencia de calcita en vetas con pirita y calcopirita diseminados. Evento final de mushketovita cortando unidades anteriores.

Observaciones microscópicas

Magnetita diseminada en roca de caja seguida de alteración de clorita y cuarzo secundario. Se observan cristales de mushketovita posteriores a mineralización de pirita y calcopirita. Sobre cristales de pirita se observa calcopirita en sus fracturas.

Fotografía macroscópica



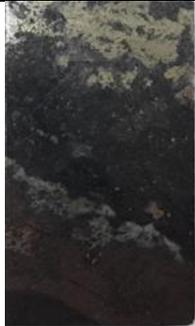
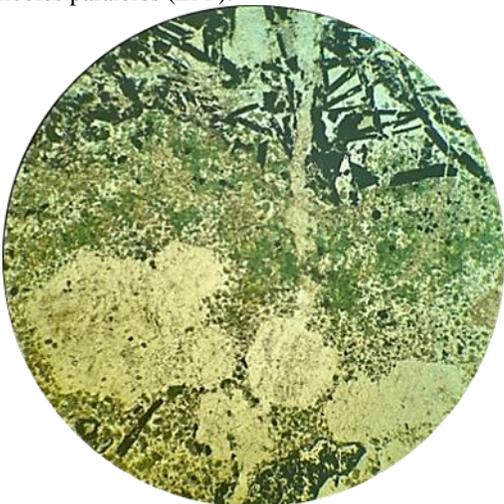
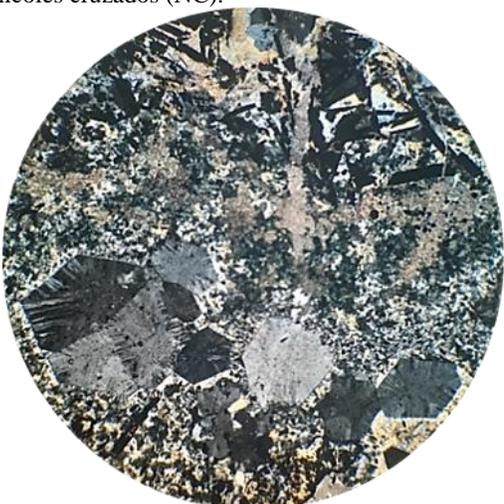
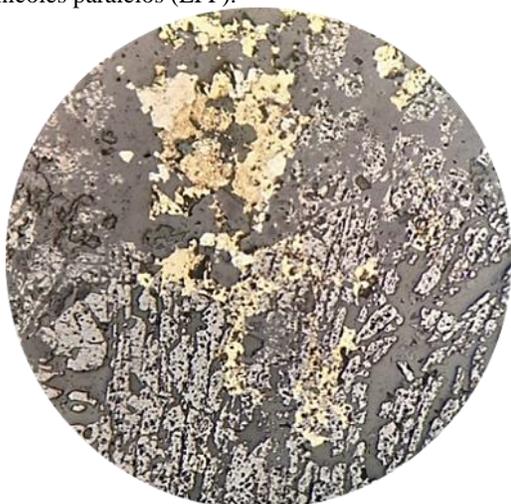
	Minerales	Descripción
Formadores de roca	Plagioclasa	Cristales zonados subhedrales de tamaño 0.5 a 3mm; 5%
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales anhedrales de entre 0.5 a 1.5mm, interceptados por mushketovita; 8%
	Calcita	Cristales subhedrales en vetillas; 20%
	Clorita	Alteración de intensidad moderada; 35%
	Sericita	Alterando a cristales de plagioclasa; 7%
Mena	Calcopirita	Mineralización diseminada posterior a pirita; 5%
	Pirita	5%? Mineralización que intercepta a la calcopirita.
	Magnetita	Cristales subhedrales e tamaño 0.2 a 1mm; 10%
	Mushketovita	Cristales tabulares cortando a eventos anteriores; 5%

Vetillas y microtexturas

Cristales de plagioclasa inmersos en masa de clorita y sílice.
 Cristales de cuarzo y calcita cortados por mushketovita.
 Vetilla rellena de calcita con paredes sinuosas de espesor 5mm.

Relaciones cronológicas

1) Plagioclasa 2) Magnetita 3) Cuarzo secundario 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Clorita 7) Mushketovita 8) Calcita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 567 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1169 567 1250 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="308 630 852 693">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <div data-bbox="755 1186 836 1228" style="text-align: right;">  <p>500 μm</p> </div>	<p data-bbox="868 630 1412 693">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <div data-bbox="1299 1186 1396 1228" style="text-align: right;">  <p>500 μm</p> </div>
<p data-bbox="308 1260 852 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <div data-bbox="755 1816 836 1858" style="text-align: right;">  <p>500 μm</p> </div>	<p data-bbox="868 1260 1412 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <div data-bbox="1299 1816 1396 1858" style="text-align: right;">  <p>250 μm</p> </div>

Sondaje	DDH18-TN-20	Muestra	M5
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas

Roca de caja brechizada por magnetita, posterior evento de cuarzo secundario y mineralización de pirita y calcopirita en vetas de calcita sobre alteración intensa de clorita que es cortada por vetillas sinuosas de calcita estériles.

Observaciones microscópicas

Roca brechizada por magnetita y clorita férrica, posterior silicificación diseminada y en vetillas. En vetilla de calcita se observa la ocurrencia de cristales de pirita subhedrales de aproximadamente 1mm de tamaño con inclusiones de calcopirita y clorita.

Fotografía macroscópica



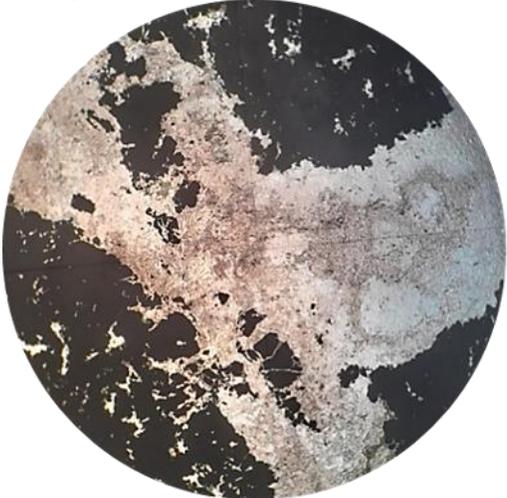
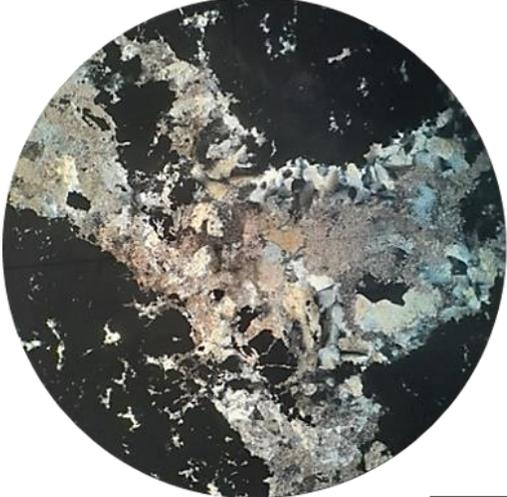
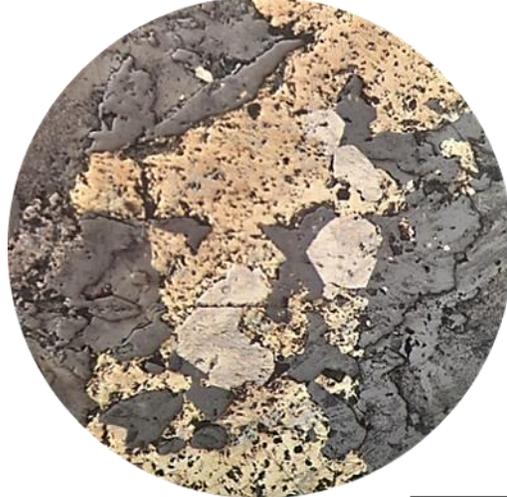
	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a las alteraciones y mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales diseminados y en vetillas junto a calcita; 10%
	Calcita	Vetilla sinuosa de 2 mm de espesor, interceptando menas y cristales de cuarzo; 15%
	Clorita	Alteración diseminada de clorita férrica; 20%
Mena	Pirita	Cristales de 0.25 a 1mm diseminados y en vetillas de calcita; 5%
	Calcopirita	Mineralización escasa posterior a ocurrencia de pirita; 5%.
	Magnetita	Como matriz de roca; 35%
	Mushketovita	Evento tardío; 10%

Vetillas y microtexturas

Veta de calcita cuarzo de unos 1mm de espesor cortada por microvetillas de calcita
 Vetilla de pirita y calcita de espesor 2mm cortando a vetilla de calcita y cuarzo.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Cuarzo secundario 3) Pirita I 4) Clorita 5) Calcopirita 6) Calcita 7) Mushketovita

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="602 569 683 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1166 569 1247 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 850 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="873 632 1412 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1192 1382 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1266 850 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1827 836 1862">500 μm</p>	<p data-bbox="873 1266 1412 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1827 1382 1862">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca de caja alterada de manera intensa por clorita sin rastros de roca de caja y posterior silicificación cortado por veta de pirita y calcita.

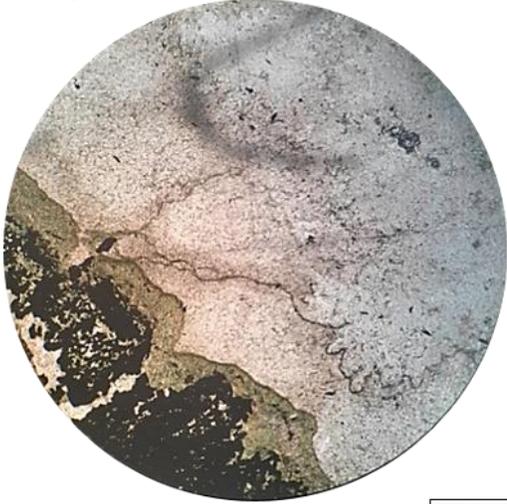
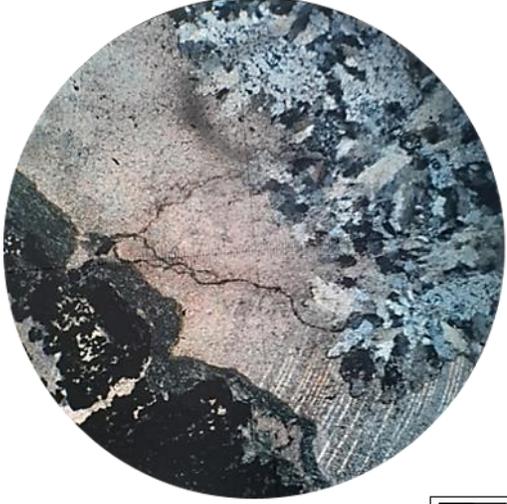
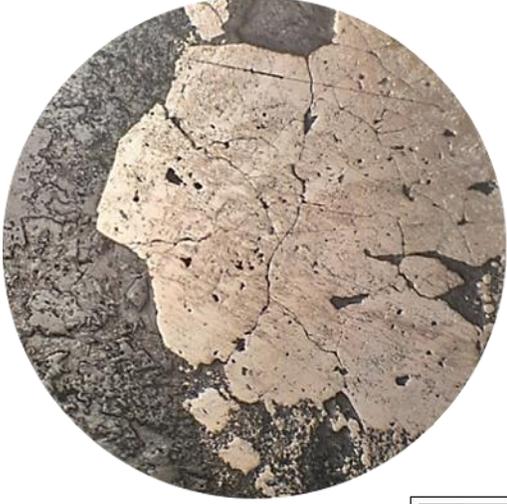
Observaciones microscópicas

Ocurrencia diseminada de cristales menores a 0.1 mm e magnetita formando una matriz de brecha. Se observa una alteración intensa de clorita férrica posterior a ocurrencia de magnetita. Veta de cristales euhedrales a subhedrales de pirita de tamaño 1mm aproximadamente.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a las alteraciones y mineralizaciones.
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales de tamaño 0.1 a 0.5mm formando una masa fundamental; 25%
	Calcita	Diseminado y en vetillas; 15%
	Clorita	Alteración diseminada en toda la muestra de clorita férrica; 30%
Mena	Pirita	Mineralización en forma de veta y cristales diseminados con cristales subhedrales de tamaño 0.1 a 2.5mm; 25%
	Calcopirita	Escasa mineralización sobre cristales de pirita; 2%
	Magnetita	Mineralización diseminada en matriz de roca; 3%
Vetillas y microtexturas		
Clorita masiva con cristales de cuarzo inmersos en ella y alterando bordes de cristales de calcita. Veta de pirita y calcopirita con un espesor de 16mm.		
Relaciones cronológicas		
1) Magnetita 2) Clorita 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Pirita II 6) Cuarzo secundario 7) Calcita		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 573 690 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 573 1258 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="311 632 854 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1192 836 1234">500 μm</p>	<p data-bbox="876 632 1419 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicoles paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1192 1382 1234">500 μm</p>
<p data-bbox="311 1266 854 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicoles cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1827 836 1869">500 μm</p>	<p data-bbox="876 1266 1419 1323">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicoles paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1300 1827 1382 1869">250 μm</p>

Sondaje

DDH18-TN-20

Muestra

M15

Observaciones macroscópicas

Roca de caja obliterada por alteración intensa de clorita, posterior ocurrencia de cuarzo secundario interceptado por vetillas de pirita, calcita y trazas de calcopirita.

Observaciones microscópicas

Masa afanítica de clorita, cristales de cuarzo secundario y calcita interceptada por vetillas de pirita, trazas de calcopirita y magnetita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Cuarzo secundario	Cristales de hasta 1 mm que diseminados y en vetillas; 20%
	Clorita	Alteración masiva de clorita férrica; 60%
Mena	Pirita	Mineralización en forma de vetillas, cristales de 0.1 a 1mm: 15%
	Calcopirita	Mineralización escasa posterior a pirita; 4%
	Magnetita	Mineralización muy escasa y diseminada en la roca; 1%
Vetillas y microtexturas		
Veta de cuarzo en bordes y pirita en el centro, de espesor 1 – 3mm. Múltiples vetillas de pirita en stockwork.		
Relaciones cronológicas		
1) Magnetita 2) Clorita 3) Cuarzo secundario 4) Pirita I 5) Calcopirita 6) Pirita II		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="607 569 688 596">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1170 569 1252 596">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="313 632 849 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="756 1188 837 1236">500 μm</p>	<p data-bbox="875 632 1411 688">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1295 1188 1377 1236">500 μm</p>
<p data-bbox="313 1262 849 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="756 1818 837 1866">500 μm</p>	<p data-bbox="875 1262 1411 1318">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1295 1818 1377 1866">250 μm</p>

Observaciones macroscópicas

Roca de caja alterada de manera intensa por clorita, posterior silicificación.
 Evento mineralizador de calcita, pirita subhedral y mushketovita interceptado por venillas estériles de calcita.

Observaciones microscópicas

Venilla de calcita y cuarzo cortando una masa afanítica de clorita férrica interceptada por cristales de mushketovita.
 Cristales de pirita subhedrales con calcopirita incluido en sus fracturas, en el borde de la veta de pirita ocurren cristales de mushketovita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		No reconocible debido a la alteración y mineralización.
Alteración	Calcita	Cristales en vetillas asociados con pirita; 5%
	Cuarzo secundario	Cristales diseminados de 0.1 mm de tamaño y en vetillas de 2mm; 40%
	Clorita	Alteración masiva afanítica, de clorita férrica; 35%
Mena	Pirita	Mineralización de cristales subhedrales de tamaño 0.5 a 1mm; 12%
	Calcopirita	Mineralización escasa posterior a pirita; 3%
	Magnetita	Mineralización escasa en matriz de roca ; 1%
	Mushketovita	Mineralización tardía posterior a pirita; 4%

Vetillas y microtexturas

Masa afanítica de clorita y cuarzo menores a 0.1 mm cortado por una veta de calcita de unos 0.5mm.
 Vetilla de pirita, calcita y calcopirita de espesor 1 a 2mm.
 Venillas de calcita estériles de 0.5 mm de espesor.

Relaciones cronológicas

1) Magnetita 2) Cuarzo secundario 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Clorita 6) Mushketovita 7) Calcita

Fotografía sección transparente



0.65 mm

Fotografía sección pulida



0.65 mm

Microfotografías sección transparente

Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).



500 μm

Microfotografías sección pulida

Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).



500 μm

Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).



500 μm

Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).



250 μm

Observaciones macroscópicas

Brecha hidrotermal con clastos alterados a clorita y matriz de magnetita.
Alteración de cuarzo secundario y calcita acompañada de mineralización de calcopirita y pirita interceptados por cristales de mushketovita.

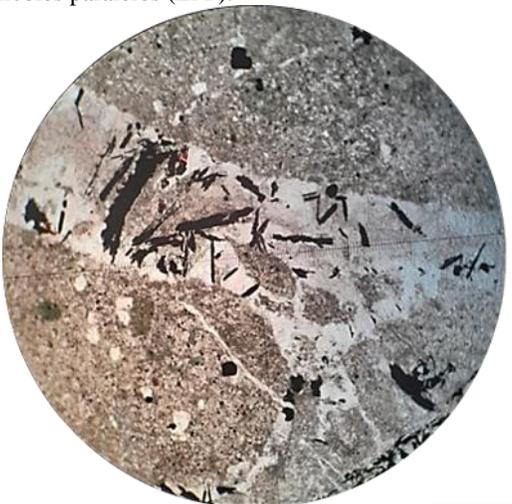
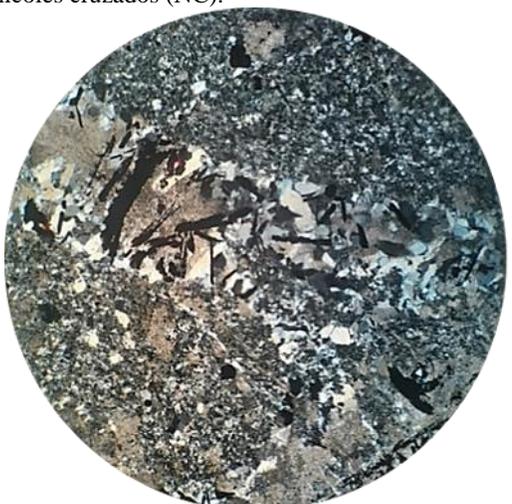
Observaciones microscópicas

Alteración moderada de clorita sobre roca de caja con inclusiones de cuarzo secundario y calcita diseminada.
Cristales de pirita II euhedrales de aproximadamente 1mm sobre mineralización de calcopirita y cortada por cristales de mushketovita.

Fotografía macroscópica



	Minerales	Descripción
Formadores de roca		Debido a la alteración y a la mineralización no se reconocen minerales formadores de roca
Alteración	Calcita	Relleno de intersticios y en veta; 20%
	Cuarzo secundario	Cristales afaníticos diseminados en la roca; 10%
	Clorita	Alteración de intensidad moderada, pervasiva en la matriz de roca; 20%
Mena	Pirita	Cristales subhedrales de tamaño 0.8 a 1.5mm; 10%
	Calcopirita	Mineralización diseminada anterior a pirita; 20%
	Mushketovita	Mineralización tardía sobre cristales de pirita y calcopirita; 20%
Vetillas y microtexturas		
Vetas de espesor de 0.8 a 2mm de espesor compuesta de calcita y pirita interceptado en los bordes por mushketovita.		
Relaciones cronológicas		
1) Clorita 2) Cuarzo secundario 3) Pirita I 4) Calcopirita 5) Pirita II 6) Mushketovita 7) Calcita		

Fotografía sección transparente	Fotografía sección pulida
 <p data-bbox="609 567 690 598">0.65 mm</p>	 <p data-bbox="1177 567 1258 598">0.65 mm</p>
Microfotografías sección transparente	Microfotografías sección pulida
<p data-bbox="316 630 852 682">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="755 1186 836 1228">500 μm</p>	<p data-bbox="876 630 1412 682">Descripción petrográfica tomada en aumento 5x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1186 1380 1228">500 μm</p>
<p data-bbox="316 1260 852 1312">Descripción petrográfica tomada en aumento 4x en nicols cruzados (NC).</p>  <p data-bbox="755 1816 836 1858">500 μm</p>	<p data-bbox="876 1260 1412 1312">Descripción petrográfica tomada en aumento 10x en nicols paralelos (LPP).</p>  <p data-bbox="1299 1816 1380 1858">250 μm</p>