



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DE ÓXIDOS DE HIERRO EN EL
DISTRITO PUNTA DEL COBRE, REGIÓN DE ATACAMA: IMPLICANCIAS
METALOGÉNICAS**

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

Profesor guía: Dr. Karl Riveros Jensen

Alejandro Funes Iter

Copiapó, Chile 2022



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DE ÓXIDOS DE HIERRO EN EL
DISTRITO PUNTA DEL COBRE, REGIÓN DE ATACAMA: IMPLICANCIAS
METALOGÉNICAS**

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

Profesor guía: Dr. Karl Riveros Jensen

Alejandro Funes Iter

Copiapó, Chile 2022

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el marco del proyecto FIC-FNDR 2019 “Núcleo de investigación del Cobalto y Tierras Raras”, financiado con recursos del Gobierno Regional de Atacama y sus Fondos para la Innovación y Competitividad (FIC).



AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a toda mi familia, mis padres Américo Funes Villanueva y Marta Iter Ramos junto a mis hermanos Américo y Bernardo, por el gran apoyo emocional que me entregaron desde que entré a la universidad, animándome cuando me agobiaba y motivándome a perseverar cuando el camino se tornaba difícil, el cariño que me entregan es la mayor fortaleza recibida para haber llegado hasta donde estoy

También me gustaría dar las gracias a todos los amigos y compañero que pude conocer a lo largo de mi carrera, sean de geología o incluso de otras carreras, desde un sencillo saludo hasta conversaciones chistosas, para trabajar en equipo en presentaciones como también las salidas a terreno, o incluso los tiempos épicos en los carretes de geo donde el relajo abundaba, pero sobre todo los consejos y cariño que me entregaron en los momentos más duros.

Otro agradecimiento importante son los profesores tanto de plan común como de carrera, quienes fueron responsables de entregar todo su conocimiento en sus respectivos ámbitos, así como también me motivaron con desarrollar la responsabilidad y el compromiso de desarrollar un buen trabajo, en el caso del departamento de geología agradezco profundamente el apoyo otorgado por los profesores al momento de tener dudas o dialogar de buena manera.

Mención aparte a mi profesor guía, el Dr. Karl Riveros Jensen, quien fue un enorme apoyo para este proceso de titulación, ofreciéndole a mis amigos y a mi ser parte del proyecto FIC-FNDR 2019 “Núcleo de investigación del Cobalto y Tierras Raras” del Gobierno Regional de Atacama, además de darme una mano para completar el proceso de práctica profesional y también dándome consejos para mejorar en mi trabajo de investigación como también en el manejo de los nervios ante momentos importantes.

Para todas las personas que he conocido en la Universidad de Atacama quiero darles un profundo y sincero “gracias”, esperando que el destino nos reuna en algún punto de nuestras vidas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	3
1.1. Problemática e hipótesis	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Ubicaciones y accesos	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Yacimientos tipo IOCG	7
2.2. Yacimientos IOCG e IOA en Chile.....	8
2.3. Distrito minero Punta del Cobre.....	11
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	15
3.1. Recopilación bibliográfica.....	15
3.2. Selección de sondajes representativos.....	15
3.3. Descripción petrográfica mediante lupa binocular y selección de muestras para confección de secciones transparentes y pulidas.....	15
3.4. Estudio petrográfico y calcográfico.....	17
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	19
4.1. Eventos de alteración hidrotermal	19
4.1.1. Feldespato potásico.....	19

4.1.2. Sílice	20
4.1.3. Epidota.....	21
4.1.4. Clorita I.....	22
4.1.5. Anfíboles indiferenciados	22
4.1.6. Actinolita	23
4.1.7. Piroxeno.....	24
4.1.8. Biotita alterada a clorita.....	25
4.1.9. Clorita II.....	25
4.1.10. Calcita.....	26
4.1.11. Anhidrita.....	27
4.2. Calcografía de óxidos de hierro.....	29
4.2.1. Hematita I	29
4.2.2. Magnetita I.....	29
4.2.3. Hematita II.....	30
4.2.4. Hematita especular.....	31
4.2.5. Magnetita II	31
4.2.6. Mushketovita	32
4.2.7. Goethita.....	33
4.2.8. Jarosita.....	34
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN.....	35
5.1. Similitud y diferencias en los eventos de alteración-mineralización en los 3 depósitos	35

5.2. Cronología relativa de los óxidos de hierro a nivel distrital.....	36
5.3. Comparación entre este trabajo y Marschick y Fontboté (2001)	38
5.4. Implicancias metalogénicas para el distrito.....	40
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXO.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de ubicación del área de estudio a escala 1 : 82.000. Punto A: Mina Granate; Punto B: Mina Mantos de Cobre; Punto C: Mina Punta del Cobre (elaboración propia)	6
Figura 2.- Representación esquemática de dos modelos propuestos para el origen de los depósitos IOCG (Modificado de Barra et al., 2017)	8
Figura 3.- Mapa de localización de los depósitos IOCG e IOA en el Cretácico temprano, conformando la Franja Ferrífera de Chile (Modificado de Charrier et al., 2007)	10
Figura 4.- Columna estratigráfica del distrito Candelaria-Punta del Cobre con las principales edades geocronológicas y paleontológica (Del Real et al., 2018; modificado de Arévalo, 1999).	11
Figura 5.- Sección geológica con la configuración de uno de los cuerpos mineralizados de Punta del Cobre, representado como un cuerpo estratiforme o manto (Camus, 1980). ...	12
Figura 6.- Lupa binocular marca Motic, modelo SMZ-171 (elaboración propia).	16
Figura 7.- Cortes pulidos (parte superior) y transparentes (parte inferior) analizados en este trabajo (elaboración propia).	17
Figura 8.- A) Microscopio Leitz Laborlux S. B) Microscopio Motic BA310 (elaboración propia).	18
Figura 9.- A) Vetilla de feldespatos potásicos en zona silicificada siendo cortada por calcopirita y piroxeno (muestra M8 del sondaje DDH17-GR-03). B) Muestra de mano que revela zona de feldespatos potásicos cortada por vetillas de epidota (pistacita) (muestra M11 del sondaje DDH14-MC-16). C) Vetilla de epidota cortando zona de feldespatos potásicos en nicols cruzados (NC) y D) Luz paralela plana (LPP).	19
Figura 10.- A) Brecha hidrotermal con matriz de cuarzo e intromisión de calcopirita (muestra M2 del sondaje DDH14-MC-16). B) Vetilla de cuarzo secundario asociada con pirita y calcita visible en NC y C) en LPP.	20

Figura 11.- A) Epidota (pistacita) asociada con cuarzo y magnetita II (muestra M32 del sondaje DDH18-GR-17) observado en NC y B) en LPP. C) Epidota (zoisita) asociada con anfíboles indiferenciados y clorita I alta en magnesio (muestra M1 del sondaje DDH14-MC-16) visible en NC y D) LPP.	21
Figura 12.- Figura 12.- A) Zona de clorita cortada por calcopirita y vetilla de calcita, (muestra DDH13-IR-12) visto en NC y B) en LPP.	22
Figura 13.- Anfíboles indiferenciados diseminados en una zona de epidota y cortada por cristales de piritita (muestra M1 del sondaje DDH14-MC-16) estudiadas a través de NC y B) LPP. C) Cristales alargados de anfíboles indiferenciados cortando piritita (muestra M31 del sondaje DDH18-GR-17) visto en NC y D) LPP.	23
Figura 14.- A) Actinolita rica en hierro en una zona de plagioclasa y epidota en la muestra M17 del sondaje DDH17-GR-03 visible en NC y B) LPP. En las cercanías de cristales de piritita en la muestra M14 del sondaje DDH18-GR-17 vista en NC y D) LPP.	24
Figura 15.- A) Cristales de piroxeno en una zona de cuarzo cortadas por calcopirita (M7 del sondaje DDH17-GR-03) visto en NC y B) LPP.	25
Figura 16.- A) Biotita que está alterando a clorita en una zona de epidota y cuarzo secundario, cortando cristales de piritita (muestra M15 del sondaje DDH14-MC-18) visible en NC y B) en LPP.	25
Figura 17.- A) Vetilla de clorita II con cristales de piritita en su interior correspondiente a la muestra M6 del sondaje DDH13-IR-12 visto en muestra de mano, B) en NC y C) en LPP.	26
Figura 18.- A) Vetilla de calcita que intercepta una zona de roca de caja con plagioclasa correspondiente a la muestra M2 del sondaje DD14-IR-56 visto en NC y B) en LPP. C) Calcita cortada por mushketovita de la muestra M13 del sondaje DDH14-IR-56 visible en NC y D) en LPP.	27
Figura 19.- A) Vetilla de anhidrita (muestra M36 del sondaje DDH17-GR-03) a través de muestra de mano. B) Vetilla de anhidrita vista en NC y C) en LPP.	28

Figura 20.- A) Roca con alteración de hematita I cortada por vetillas de calcita con hematita especular y cristales de pirita (muestra M8 del sondaje DDH14-IR-56) visto como muestra de mano y B) en corte pulido.	29
Figura 21.- Magnetita I diseminada en la roca alterada cortada por pirita y magnetita II (muestra M2 del sondaje DDH14-MC-16).	30
Figura 22.- A) Hematita II en los intersticios de los cristales de pirita y cortada por vetillas de calcita (muestra M2 del sondaje DDH14-IR-56) visto tanto en muestra de mano y B) en corte pulido.	30
Figura 23.- A) Hematita especular asociada con hematita II en la muestra M6 del sondaje DDH14-IR-56 y B) hematita especular en una zona de calcita (muestra M8 del sondaje DDH14-IR-56).	31
Figura 24.- Magnetita II asociada con pirita y calcopirita (muestra M4 del sondaje DDH14-MC-18).	32
Figura 25.- A) Mushketovita cortando calcopirita en la muestra M13 del sondaje DDH14-IR-56. B) Mushketovita cortando calcita en la muestra M22 del sondaje DDH18-TN-20 visible en NC y C) en LPP.	33
Figura 26.- A) Goethita cortando calcopirita en una zona de sílice (muestra M10 del sondaje DDH18-GR-17) visto en NC y (B) en LPP.	34
Figura 27.- A) Jarosita cortando pirita y asociada con calcita (muestra M1 del sondaje DDH13-IR-12), visto a través de NC y B) LPP.	34
Figura 28.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para los minerales encontrados en Mina Granate (elaboración propia).	35
Figura 29.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para los minerales encontrados en Mina Mantos de Cobre (elaboración propia).	36
Figura 30.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para los minerales encontrados en Mina Punta del Cobre (elaboración propia).	36

Figura 31.- Tabla de secuencia geocronológica relativa en base a los minerales descritos en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre (elaboración propia).
..... 37

Figura 32.- Secuencia paragenética de minerales de mena, ganga y alteración en Candelaria y el distrito Punta del Cobre (Modificado de Marschick & Fontboté, 2001). 38

RESUMEN

El distrito minero Punta del Cobre, ubicado en la Región de Atacama, Chile, corresponde a un depósito tipo IOCG, reconocidos por su alto contenido de magnetita hidrotermal y/o hematita y cuyo origen sigue siendo debatido hasta la actualidad, con modelos que varían desde actividad netamente magmática hasta el reemplazo de rocas de caja por fluidos hidrotermales. Este proyecto de investigación incluye la selección de muestras provenientes desde 9 sondajes que representen 3 minas importantes del distrito: Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre. A partir de estas muestras se confeccionaron cortes pulidos y transparentes con la finalidad de ejecutar estudios petro-calcográficos que permitan proponer una secuencia paragenética tentativa de las relaciones temporo-espaciales de las diferentes fases de óxidos de hierro y los respectivos eventos de alteración. En total se determinaron 5 etapas principales. La primera corresponde a hematita temprana que ocurre como matriz de brecha hidrotermal, seguido por un evento mineralizador de magnetita como cristales de grano fino, ambos relacionados con el final de una etapa de alteraciones que involucra feldespatos potásicos, alteración silíceo-epidota y clorita. La tercera etapa corresponde a hematita \pm hematita especular en vetillas que es posterior a cristales de anfíboles indefinidos, actinolita rica en hierro, piroxeno y biotita cloritizada, seguido de una mineralización de magnetita masiva asociada con calcopirita \pm pirita como una matriz de brecha hidrotermal. El último está asociado a la ocurrencia tardía de óxidos, hidróxidos y sulfatos de hierro en forma de hematita especular, mushketovita, goethita y jarosita respectivamente, los cuales son posteriores a vetillas de calcita \pm cuarzo \pm calcopirita y anhidrita. Los resultados petrocalcográficos indican que la génesis del distrito involucra una etapa temprana de alta temperatura asociada a fluidos magmático-hidrotermales que generaron una alteración de feldespatos potásicos. El enfriamiento del sistema habría gatillado la formación de otras alteraciones como clorita y epidota, donde fluidos ricos en Fe y con alta fugacidad de oxígeno permitieron la depositación de hematita y magnetita. Posteriormente habría aumentado la fugacidad de azufre del sistema, gatillando la mineralización de pirita y calcopirita. Luego el sistema evolucionaría a un ambiente oxidante nuevamente, favoreciendo la formación de mushketovita y particularmente anhidrita en la zona hipógena del sistema. Finalmente, ocurrieron procesos de oxidación supérgena, formando goethita y jarosita.

ABSTRACT

The Punta del Cobre mining district, located in the Atacama Region, Chile, corresponds to an IOCG-type deposit, recognized for its high content of hydrothermal magnetite and/or hematite and whose origin continues to be debated to this day, as models vary from purely magmatic activity to the replacement of host rocks by hydrothermal fluids. This research project covers the selection of samples from 9 drill holes that represent 3 important mines in the district: Garnate, Mantos de Cobre and Punta del Cobre. From these samples, thin and polished sections were prepared in order to carry out petrographic and calcographic studies that generate a tentative paragenetic sequence that shows the temporal-spatial relationship of each oxidized phase. In total, 5 main stages were determined. The first stage is related to hematite that occurred as a hydrothermal breccia matrix, followed by a magnetite mineralizing event as fine-grained crystals, both related to the end of potassic, silicea, epidote and chlorite alteration. The third stage corresponds to hematite \pm specular hematite in veinlets that is subsequent to indefinite amphibole crystals, iron-rich actinolite, pyroxene and chloritized biotite. Then a massive magnetite mineralization occurred, which is associated with chalcopyrite \pm pyrite as a hydrothermal breccia matrix. The last of iron oxide event is related to deposition of specular hematite, mushketovite, goethite and jarosite, which cuts veinlets of calcite \pm quartz \pm chalcopyrite and anhydrite. The genesis of the mining district includes a high-temperature early stage related to magmatic-hydrothermal fluids, which promote potassic alteration. Due to cooling, other alterations such as chlorite and epidote were developed. The oxidizing environment of Fe-rich fluids allow the early deposition of hematite and magnetite. However, the increase of sulfidation degree promotes mineralization of pyrite and chalcopyrite. Then oxidizing fluids generates mushketovite and anhydrite in the hypogene zone of the system. Finally, supergene oxidation processes occurred, which produces goethite and jarosite.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática e hipótesis

Los depósitos IOCG se definen estrictamente como depósitos de hierro magmático-hidrotermal con menas de cobre, plata y oro, pero existen casos especiales donde pueden hospedar mineralización de REE (elementos de tierras raras) y cobalto. El establecimiento de una temporalidad relativa de los eventos de mineralización y alteración de un depósito es fundamental para desarrollar un modelo actualizado de la evolución hidrotermal del mismo.

En consecuencia, el presente trabajo reconstruye los diferentes eventos de depositación de minerales de hierro en el distrito minero Punta del Cobre, a partir de un estudio petrocalcográfico de las muestras representativas de los yacimientos Punta del Cobre, Mantos del Cobre y Granate, donde se pretende establecer una cronología relativa para estos eventos hidrotermales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Reconstruir temporo-espacialmente los diferentes eventos hidrotermales asociados a la depositación de óxidos de hierro en el distrito Punta del Cobre.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las diferentes fases oxidadas del distrito Punta del Cobre, asociadas con los respectivos eventos de alteración.
- Caracterizar las microtexturas de las fases oxidadas para establecer una cronología relativa de los eventos de depositación de minerales.
- Comparar mineralógica y texturalmente los eventos hidrotermales de los tres depósitos que componen el distrito para identificar sus diferencias y similitudes a nivel geológico.

1.3. Ubicaciones y accesos

El área de estudio corresponde al Distrito minero Punta del Cobre, ubicado en la Región de Atacama de Chile, el cual se encuentra a 15 kilómetros al sur de la comuna de Copiapó y a 3 kilómetros al noreste del depósito Candelaria.

Para acceder a la zona de estudio, desde la Universidad de Atacama, se debe tomar la Ruta 5 Sur hasta Tierra Amarilla, luego se empalma con la Ruta C-35 hasta el Museo Mineralógico de Tierra Amarilla (Fig. 1).

Desde aquel punto en adelante, el acceso al distrito está restringido por la Sociedad Punta del Cobre S.A. (Pucobre), por lo cual es necesario pedir su autorización para el ingreso al área de estudio, la cual posee caminos de bischofita totalmente señalizados, accesible en cualquier tipo de vehículo (de preferencia vehículos de doble tracción).

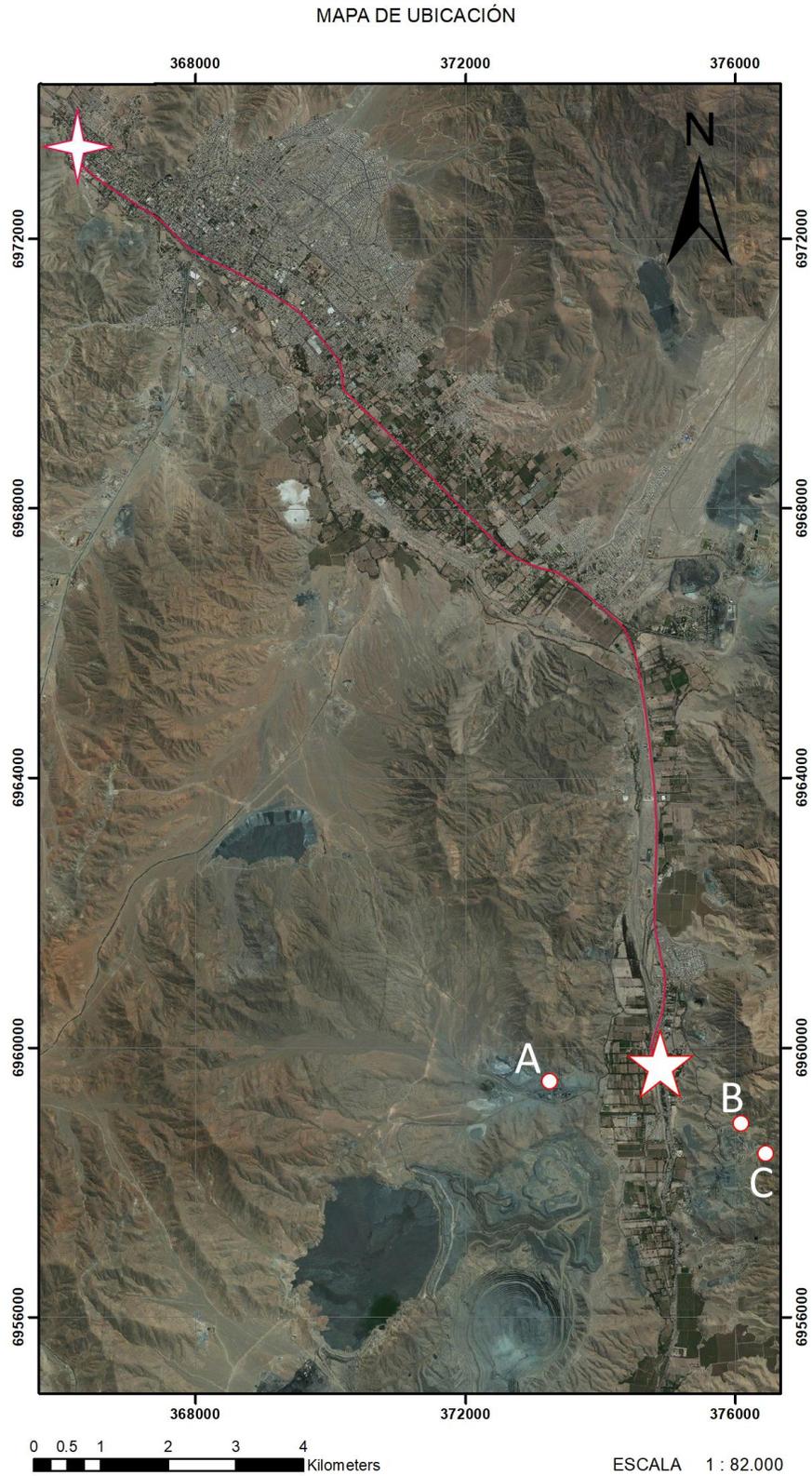


Figura 1.- Mapa de ubicación del área de estudio a escala 1 : 82.000. Punto A: Mina Granate; Punto B: Mina Mantos de Cobre; Punto C: Mina Punta del Cobre (elaboración propia)

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Yacimientos tipo IOCG

Los depósitos de óxido de hierro-cobre-oro (IOCG) definidos principalmente por su elevado contenido en magnetita y/o hematita, constituyen un clan amplio y poco definido, relacionado a una variedad de eventos tectono-magmáticos que demuestra una relación muy cercana con los complejos plutónicos y los sistemas de fallas coevales, pudiendo ser clasificados según la morfología del depósito, los parámetros litológicos y los parámetros estructurales tales como vetas, brechas hidrotermales, mantos de reemplazo, skarn cálcicos y depósitos compuestos que combinan todas o la mayoría de las estructuras anteriores (Sillitoe, 2003).

La agrupación de los minerales en un depósito IOCG se explica con el hecho de que contienen magnetita hidrotermal y/o hematita especular, minerales que son acompañamientos principales de la calcopirita \pm bornita (Ray y Lefebure, 2000).

El origen de los depósitos IOCG se ha convertido en un tema debatido considerablemente, con teorías como la formación de una salmuera magmática que captura los metales (Hitzman et al., 1992; Pollard, 2000) (Fig. 2A) o una salmuera de cuenca externa calentada por las intrusiones (Barton y Johnson, 1996; Hitzman, 2000) (Fig. 2B).

Hitzman (2000) resume las características comunes de los depósitos IOCG de la siguiente manera: (1) la edad de formación de los depósitos IOCG con mayor potencial económico se data entre el Arqueano (como en Salobo, Brasil; Requía et al., 2003) y el Cretácico (como en Candelaria, Chile; Marschick y Fontboté, 2001; Mathur et al., 2002); (2) los depósitos poseen una asociación temporal y espacial con eventos magmáticos significativos; (3) muchos depósitos demuestran un fuerte control estructural incluyendo la presencia de fallas de ángulo alto a bajo; (4) los grandes depósitos de este tipo son caracterizados por una abundancia en óxidos de hierro y una escasez relativa de sulfuros de hierro; (5) la roca de caja en muchos de estos depósitos es alterada intensamente a escala de depósito y distrito, incluyendo ensamblajes sódico, sódico-cálcico y potásico; y por último (6), los fluidos responsables de la mineralización y alteración parecen ser relativamente salinos, oxidados y pobres en azufre.

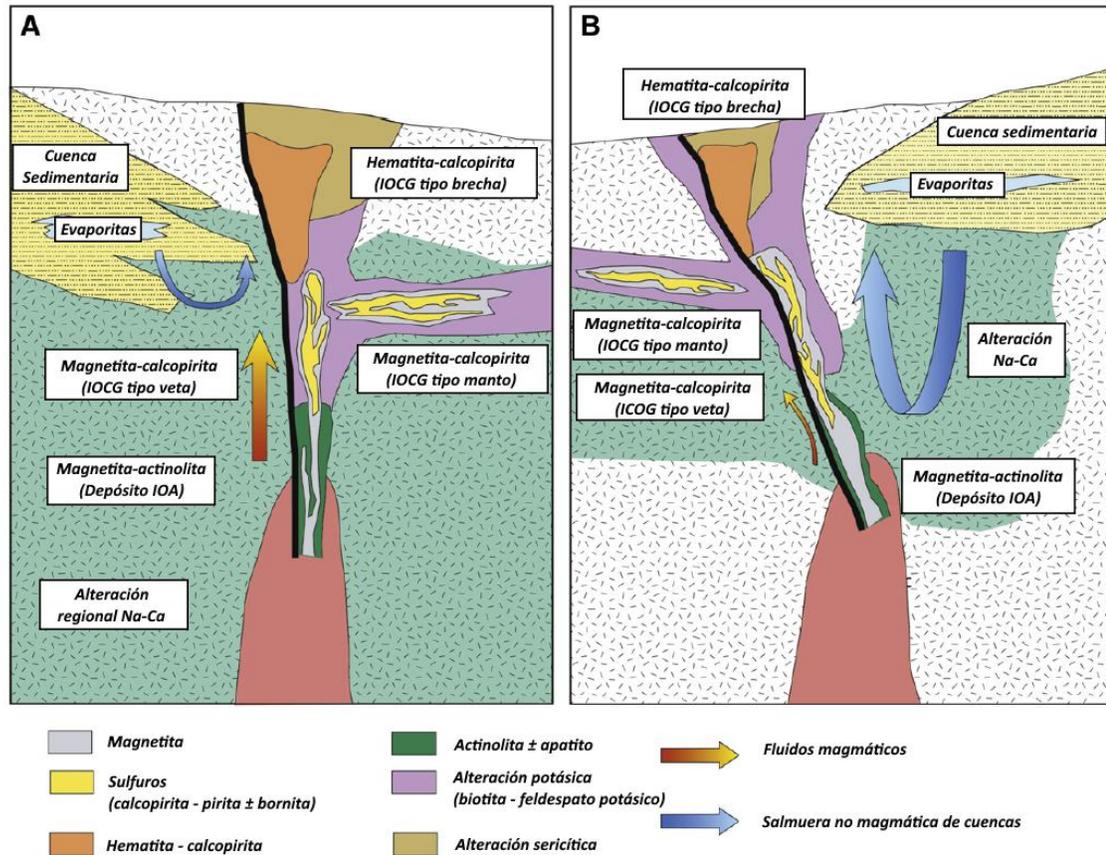


Figura 2.- Representación esquemática de dos modelos propuestos para el origen de los depósitos IOCG. (A) Modelo magmático-hidrotermal: los fluidos y los metales son de origen magmático con una contribución menor desde el basamento y/o rocas volcánicas; (B) los fluidos son derivados desde cuencas sedimentarias y son calentados por una fuente volcánica mientras que los metales son lixiviados de rocas sedimentarias y/o rocas volcánicas (modificado de Barra et al., 2017).

2.2. Yacimientos IOCG e IOA en Chile

Las provincias metalogénicas más fértiles para estos tipos de depósitos son las que se asocian a batolitos del Mesozoico y sistemas de fallas paralelas al arco, tales como el Sistema de Fallas de Atacama (Sillitoe, 2003). Este sistema estructural se orienta paralelo al eje de la Cordillera de la Costa por más de 1000 kilómetros entre las latitudes 20° y 30° sur. Este sistema se compone de una serie de segmentos cóncavos al oeste que comprenden fallas dúctiles y frágiles con rumbos NNW-SSE, N-S y NNE-SSW que sufrieron un movimiento variable, incluyendo principalmente un desplazamiento sinistral (Hervé, 1987; Scheuber & Andriessen, 1990; Brown et al., 1993).

En este contexto, la franja metalogénica del Cretácico Inferior (Fig. 3) se extiende a lo largo de la Cordillera de la Costa (22°-34° latitud sur) y hospeda principalmente depósitos de óxido de Fe-Cu-Au (IOCG), depósitos de óxido de Fe-apatito (IOA) y depósitos estratoligados y en menor medida pórfidos cupríferos (Maksaev et al., 2007).

Dentro de los depósitos IOA más importantes en Chile destaca Cerro Negro Norte, Los Colorados y El Laco. El depósito Cerro Negro Norte está ubicado en el “Cinturón de Hierro” a 32 kilómetros al norte de Copiapó y es de edad Cretácico, donde la mena de magnetita se hospeda en rocas andesíticas, asociada espacial y genéticamente a una intrusión diorítica (Salazar et al., 2020). Por otra parte, el yacimiento Los Colorados que se ubica a 30 km al noroeste de Vallenar, Región de Atacama también es catalogado como yacimiento del tipo magnetita-apatito y se compone por dos diques de magnetita masiva asociados a una intrusión diorítica (Lagas et al., 2015). Finalmente, otro depósito de magnetita-apatito que es considerado como uno de los depósitos IOA más representativos corresponde a El Laco, ubicado en el extremo sureste del altiplano de la Región de Antofagasta, Chile (Broughm et al., 2017). Estudios realizados en el sector lo describen como un depósito de origen volcánico del Plioceno y además como un equivalente somero del yacimiento IOA encontrado en Kiruna, Suecia (Park, 1961; Nyström y Henríquez, 1994; Nyström et al., 2008).

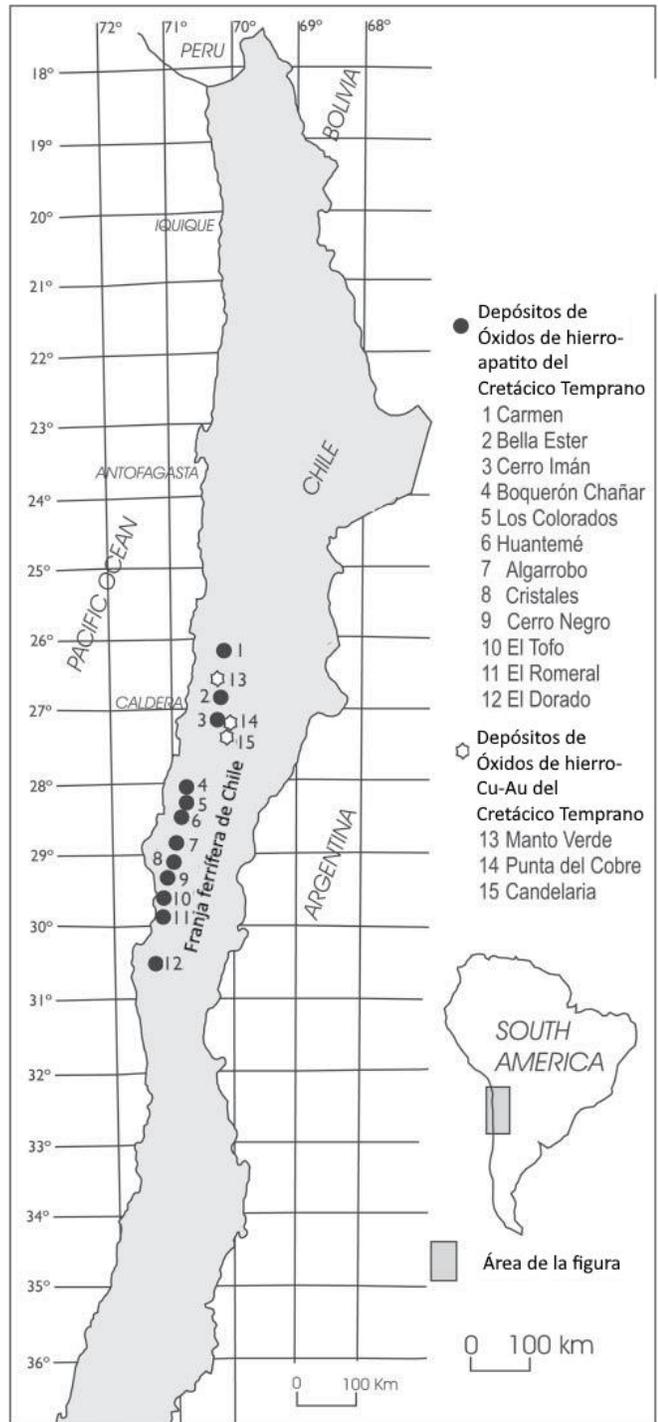


Figura 3.- Mapa de localización de los depósitos IOCG e IOA en el Cretácico temprano, conformando la Franja Ferrífera de Chile (Modificado de Charrier et al., 2007).

En el caso de los yacimientos del tipo IOCG, los ejemplos de yacimientos más importantes corresponden a son Candelaria, Mantoverde y Punta del Cobre (COCHILCO, 2009).

2.3. Distrito minero Punta del Cobre

El distrito minero Punta del Cobre corresponde a un depósito de tipo IOCG, y junto con el Depósito Candelaria, se hospedan principalmente en la Formación Punta del Cobre, la cual comprende rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentos (Fig. 4), estableciéndose una subdivisión en las siguientes unidades (Pincheira et al., 1994; Marschik y Fontboté, 1996): (1) Lavas Inferiores, de composición andesítica; (2) Albitrófiro, que corresponde a rocas dacíticas de grano fino y de alteración intensa; (3) Horizontes A y B, compuestos por brechas y sínter silíceo; (4) Miembro Trinidad, con intercalaciones de cherts y carbonatos; y (5) Lavas Superiores, de composición basáltica y basáltica/andesítica. Es importante destacar que la mineralización en el distrito Punta del Cobre se hospeda principalmente en las Lavas Inferiores, el Albitrófiro y entre los horizontes A y B (Oyarzún et al., 1999).

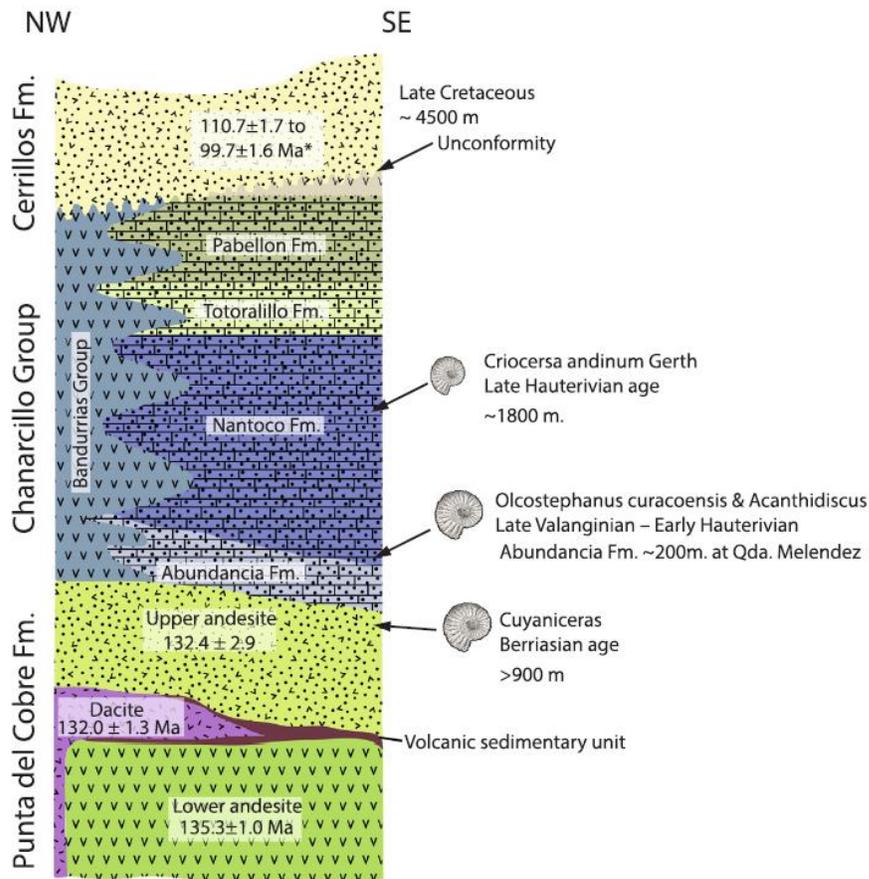


Figura 4.- Columna estratigráfica del distrito Candelaria-Punta del Cobre con las principales edades geocronológicas y paleontológicas (Del Real et al., 2018; modificado de Arévalo, 1999).

En base a la geometría de los cuerpos mineralizados, se establece que los yacimientos del distrito son del tipo estratoligado (Fig. 5), que corresponden a depósitos hospedados en rocas volcánicas andesíticas, en los cuales la mineralización dio lugar a cuerpos concordantes y discordantes con la estratificación, destacando una mineralogía primaria caracterizada por la asociación magnetita/hematita-calcopirita-pirita y la abundancia de esfalerita (Vivallo, 2009).

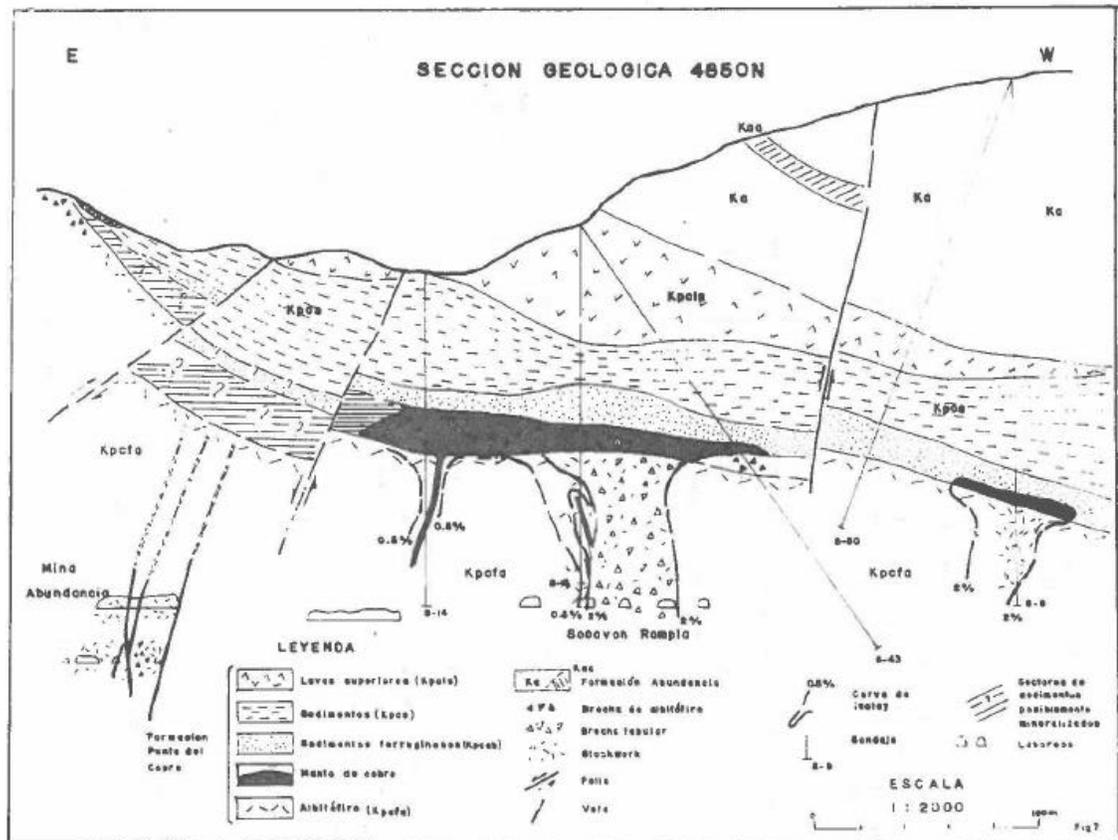


Figura 5.- Sección geológica con la configuración de uno de los cuerpos mineralizados de Punta del Cobre, representado como un cuerpo estratiforme o manto (Camus, 1980).

En este distrito ocurren diversos estilos de mineralización, incluyendo vetas, cuerpos minerales estratiformes y stockworks, hospedados en andesitas, facies de albitrófiro y brechas de la Formación Punta del Cobre (Camus, 1980; Pincheira et al., 1994, 1997; Marschik y Fontboté, 1996).

Diversos eventos estructurales han sido reconocidos en el distrito Candelaria-Punta del Cobre y se interpreta que reflejan una formación y extensión temprana de una cuenca,

seguido por un cambio a la deformación transtensional, y una subsecuente inversión de la cuenca con fallamientos y plegamientos relacionados (Arévalo et al., 2006).

La mineralización se hospeda en brechas y fallas subverticales con orientación NNW, además de asociarse con la existencia de un sistema hidrotermal controlado por estructuras regionales con cinemáticas cambiante, eventos intrusivos múltiples, migración de fluidos a través de litologías permeables y reactivas y, cambios verticales en las condiciones REDOX (Del Real et al., 2018).

Las zonas más profundas de los depósitos que conforman el distrito Punta del Cobre tienen una asociación mineralógica similar a la que presenta mina Candelaria, con zonas de alteración de biotita-feldespatos potásicos \pm anfíboles cálcicos \pm epidota, mientras que en los niveles más someros ocurren zonas de alteración de biotita-feldespatos potásicos o de albita-clorita \pm calcita (Marschik y Fontboté, 2001).

La edad del depósito de las menas se ha inferido a partir de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotita hidrotermal contemporánea con la mineralización de Cu(-Fe)-Au, arrojando una edad de isócrona inversa de 114.9 ± 1.0 Ma, consistente con la isócrona Rb-Sr de 116.8 ± 2.7 Ma. Por otra parte, la temperatura de formación de las menas habría variado entre 400-500 °C (Marschik et al., 1997).

Considerando que el plomo de las menas en distrito Candelaria-Punta del Cobre poseen la misma composición isotópica que el plomo común proveniente de las rocas magmáticas sin alteración del área, es posible establecer que las menas se habrían originado directamente desde un fluido magmático resultante de una exsolución, durante la cristalización del batolito y/o desde la lixiviación hidrotermal de las rocas volcánicas que originalmente tuvieron una composición isotópica similar a la del batolito (Marschik et al., 2003).

Mediante un estudio de las razones Ni-Co en pirritas del distrito Candelaria-Punta del Cobre se consiguieron resultados que son consistentes con fluidos hidrotermales mineralizadores de origen predominantemente magmático, exsueles desde magmas máficos-intermedios incluyendo un evento de fluidos externos potencialmente provenientes de una cuenca sedimentaria como fuente tardía de azufre en la evolución del sistema. No

obstante, no se tienen evidencias para sugerir que un fluido tardío se habría asociado a una mineralización significativa de Cu-Au aunque la teoría no puede ser descartada, considerando que los rangos de elementos traza emparejados con datos de isótopos de azufre en la pirita son un proxy importante para ubicar la evolución magmática-hidrotermal de los sistemas IOCG y ayudar a restringir la fuente de los metales contenidos (Del Real et al., 2020).

En el distrito Candelaria-Punta del Cobre, se establece que las unidades de dacita y de diorita con hornblenda estarían precediendo a la mineralización, mientras que la cuarzo-monzonita y la monzodiorita se habrían emplazado contemporáneamente, sugiriendo incluso un potencial vínculo genético donde estas dos intrusiones metaluminosas y shoshoníticas (alta concentración de K) habrían aportado energía, fluidos, metales y azufre al sistema hidrotermal responsable de la mineralización (Marschik y Söllner, 2006).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Recopilación bibliográfica

Para profundizar la investigación respecto a la cronología de eventos de alteración y mineralización en la zona de trabajo se realizó una recopilación de documentos ligados al distrito minero Punta del Cobre, así como también trabajos de investigación relacionados a yacimientos tipo IOCG.

3.2. Selección de sondajes representativos

Como primer paso en el proyecto de investigación, se seleccionaron un total de 9 sondajes (2 en Granate, 3 en Mantos de Cobre y 4 en Punta del Cobre) representativos de los 3 depósitos que conforman el distrito minero Punta del Cobre, con el fin de obtener la mayor representatividad temporo-espacial en cuanto a litología, alteración y mineralización.

3.3. Descripción petrográfica mediante lupa binocular y selección de muestras para confección de secciones transparentes y pulidas

Una vez completado el proceso de selección de muestras, se dio inicio a la descripción petrográfica mediante una lupa binocular marca Motic modelo SMZ-171 acoplada con una cámara Moticam (Fig. 6) que permitió realizar una descripción de la litología, alteración y mineralización. Los resultados de esta etapa, en conjunto con los antecedentes geoquímicos, permitieron seleccionar un subgrupo de 42 muestras de mano (13 de Mina Granate, 12 de Mina Mantos de Cobre y 17 de Mina Punta del Cobre).



Figura 6.- Lupa binocular marca Motic, modelo SMZ-171 (elaboración propia).

Las 42 muestras de mano fueron trasladadas hasta un laboratorio en Los Andes, con el objetivo de confeccionar cortes pulidos (necesarios para la descripción de minerales de mena) y cortes transparentes (para la descripción de litología y alteración), completando un total de 84 cortes (Fig. 7).



Figura 7.- Cortes pulidos (parte superior) y transparentes (parte inferior) analizados en este trabajo (elaboración propia).

3.4. Estudio petrográfico y calcográfico

Las 84 secciones pulidas y transparentes fueron estudiadas desde el punto de vista petrográfico y calcográfico. Para esto se utilizó un microscopio óptico de luz transmitida marca Leitz Laborlux S (Fig. 8A) para el análisis de secciones transparentes y un microscopio marca Motic BA310 para el análisis calcográfico de secciones pulidas (Fig. 8B).



Figura 8.- A) Microscopio Leitz Laborlux S. B) Microscopio Motic BA310 (elaboración propia).

En ambos análisis se realizó la captura fotomicrográfrica y el registro en video de las particularidades en las muestras a través de un teléfono celular marca Samsung modelo A21s.

Finalmente se describieron los diferentes eventos de mineralización y alteración, estableciendo la cronología relativa de los mismos. En esta etapa se seleccionaron 10 muestras clave para eventuales estudios futuros de alta resolución, mediante microscopía de barrido electrónico (SEM-EDS).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

Los resultados del análisis petrográfico y calcográfico de los cortes pulidos y transparentes se han distribuido en 2 grupos: eventos de alteración hidrotermal y mineralizaciones de óxidos de hierro. Además, los minerales de ambos grupos se ordenaron a partir de las relaciones de corte entre estos, desde el más temprano al más tardío.

4.1. Eventos de alteración hidrotermal

4.1.1. Feldespato potásico

Esta alteración ocurre como vetillas en Mina Granate (Fig. 9A) y de modo pervasivo en Mina Mantos de Cobre con intensidad alta (Fig. 9B), en ocasiones se asocia espacialmente con la alteración silícea conformando la alteración “ksill”, es cortado por calcopirita y antecede a los eventos de piroxeno (Fig. 9A) y epidota (pistacita) (Fig. 9C-D).

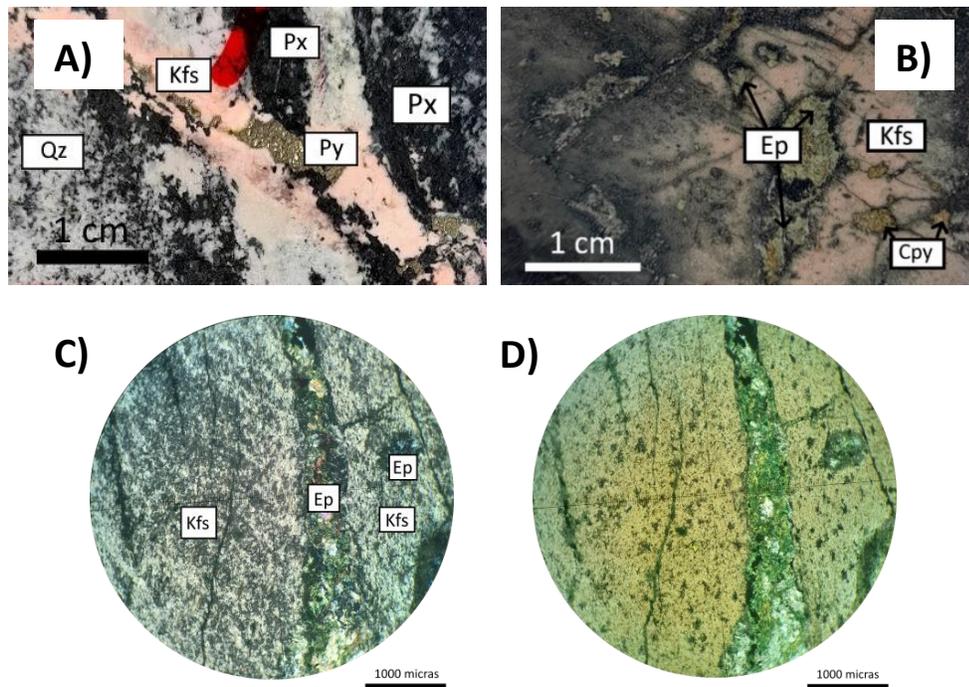


Figura 9.- A) Vetilla de feldespato potásico en zona silicificada siendo cortada por calcopirita y piroxeno (muestra M8 del sondaje DDH17-GR-03). B) Muestra de mano que revela zona de feldespato potásico cortada por vetillas de epidota (pistacita) (muestra M11 del sondaje DDH14-MC-16). C) Vetilla de epidota cortando zona de feldespato potásico en nicole cruzados (NC) y D) Luz paralela plana (LPP). Abreviatura: Cpy = calcopirita, Ep = epidota, Kfs = feldespato potásico, Px = piroxeno, Py = pirita, Qz = sílice.

4.1.2. Sílice

En casi todos los sondajes estudiados se logra reconocer una alteración de sílice con una intensidad que varía de leve a intensa. Además la alteración silíceo se presenta como matriz de brecha hidrotermal asociada con calcopirita en una sección de Mina Mantos de Cobre (Fig. 10A) y como vetas junto a calcita y pirita (Fig. 10B-C) tal como ocurre en Mina Punta del Cobre (muestra M3 del sondaje DDH18-TN-20).

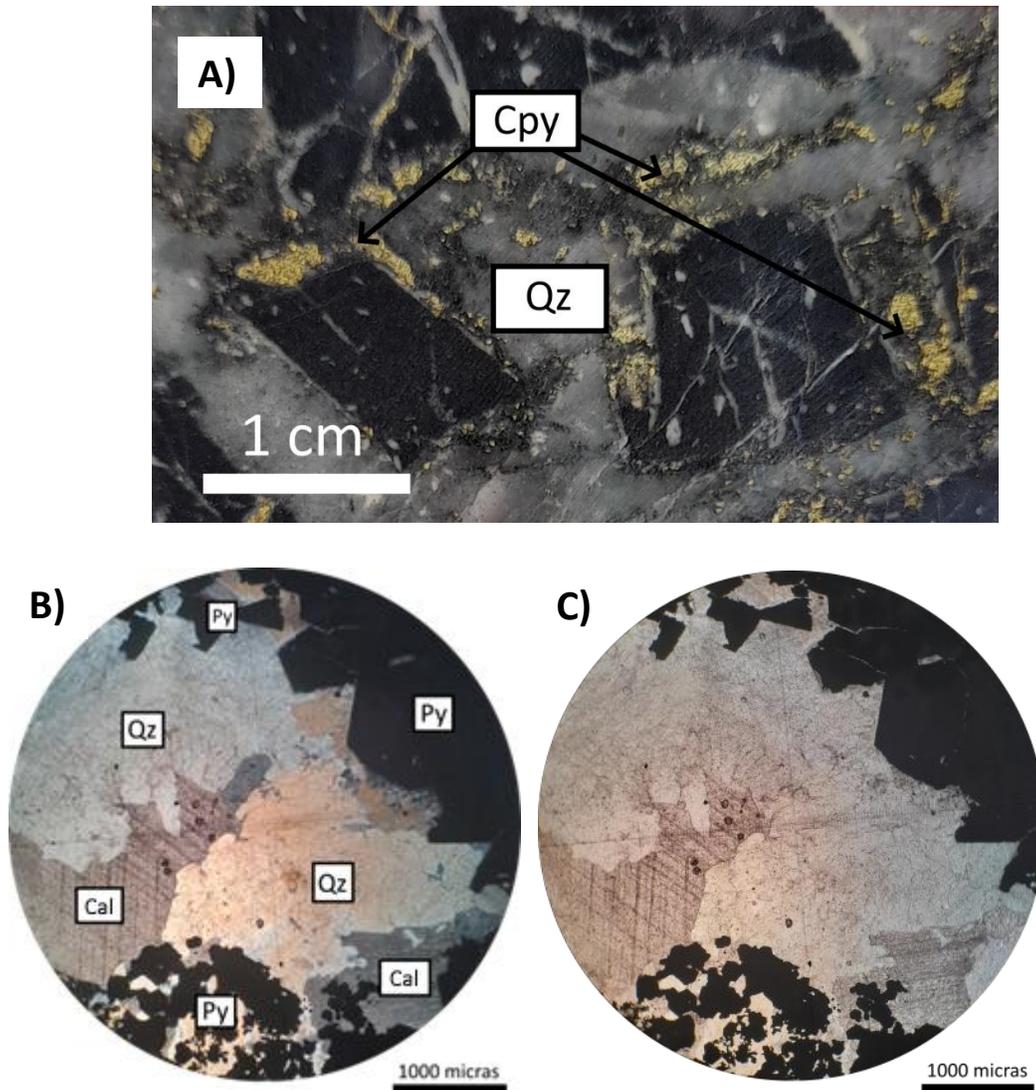


Figura 10.- A) Brecha hidrotermal con matriz de cuarzo e intromisión de calcopirita (muestra M2 del sondaje DDH14-MC-16). B) Vetilla de sílice asociada con pirita y calcita visible en NC y C) en LPP. Abreviatura: Cal = calcita, Py = pirita, Qz = sílice.

4.1.3. Epidota

Se reconocen dos tipos principales de epidota: zoisita (cristales largos e incoloros con un relieve alto en LPP) y pistacita (cristales con un rango de color entre incoloro a verde-amarillento, ligero pleocroismo y relieve alto en LPP). En el caso de la pistacita, esta es posterior al feldespato potásico (Fig. 9B, 9C y 9D) y coexiste con sílice (Fig. 11A-B), mientras que la zoisita se asocia con la presencia de anfíboles indiferenciados y clorita I alta en magnesio (Fig. 11C-D).

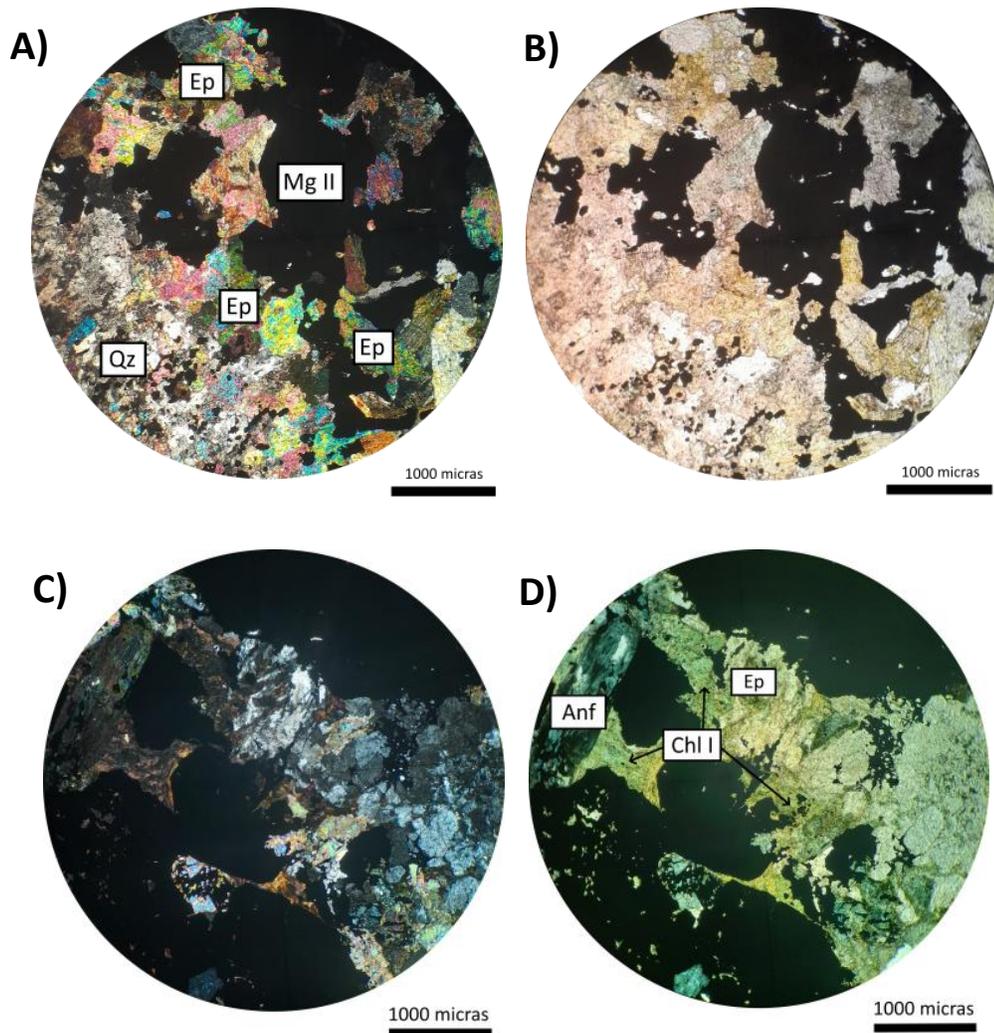


Figura 11.- A) Epidota (pistacita) asociada con cuarzo y magnetita II (muestra M32 del sondaje DDH18-GR-17) observado en NC y B) en LPP. C) Epidota (zoisita) asociada con anfíboles indiferenciados y clorita I alta en magnesio (muestra M1 del sondaje DDH14-MC-16) visible en NC y D) LPP. Abreviatura: Anf = anfíboles indiferenciados, Chl I = clorita I, Ep = epidota, Mg II = magnetita II, Qz = sílice.

4.1.4. Clorita I

En la gran mayoría de las muestras estudiadas se presenta una alteración intensa de clorita, que es capaz de alterar a la roca de caja a tal punto que no se reconoce la litología original a excepción de unos pocos cristales de plagioclasa reconocibles puntualmente. La clorita I no se observa en muestras donde ocurren alteraciones de feldespato potásico, y además, es cortada principalmente por magnetita (I y II), pirita, calcopirita y calcita (Fig. 12A-B).

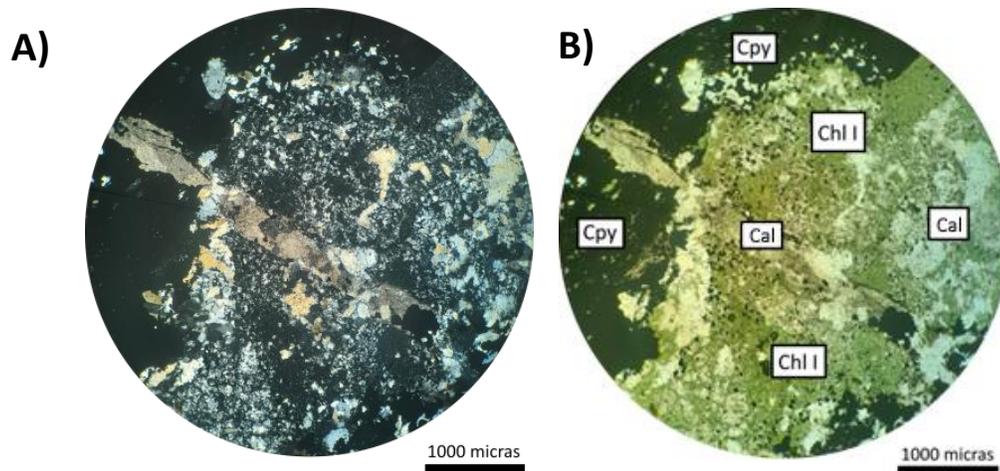


Figura 12.- A) Zona de clorita cortada por calcopirita y vetilla de calcita, (muestra DDH13-IR-12) visto en NC y B) en LPP. Abreviatura: Cal = calcita, Chl I = clorita I, Cpy = calcopirita.

4.1.5. Anfíboles indiferenciados

Estos anfíboles se presentan en el sector Mantos de Cobre (muestra M1 del sondaje DDH14-MC-16) los cuales ocurren de manera diseminada como halos de vetas de pirita (Fig. 13A-B) y en sector Granate (muestra M31 del sondaje DDH18-GR-17) cortando los bordes de una vetilla de pirita con una longitud de hasta 3 milímetros (Fig. 13C-D).

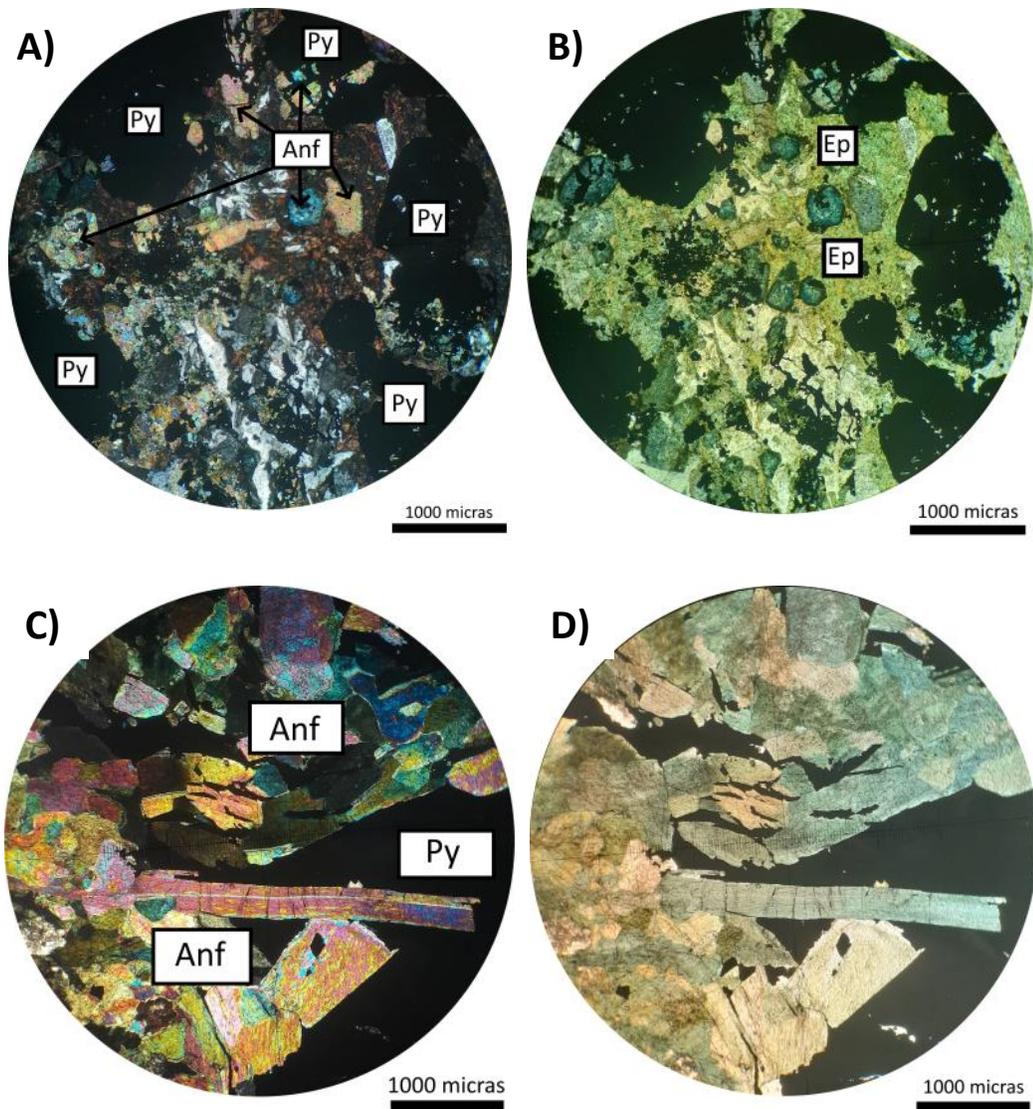


Figura 13.- Anfíboles indiferenciados diseminados en una zona de epidota y cortada por cristales de pirita (muestra M1 del sondaje DDH14-MC-16) estudiadas a través de NC y B) LPP. C) Cristales alargados de anfíboles indiferenciados cortando pirita (muestra M31 del sondaje DDH18-GR-17) visto en NC y D) LPP. Abreviatura: Anf = anfíboles, Ep = epidota, Py = pirita.

4.1.6. Actinolita

La actinolita reconocida en el distrito correspondería a una variante rica en hierro (debido a su intenso color verde oscuro en luz polarizada plana). Este mineral ocurre como cristales euhedrales que se presentan diseminados en la roca de caja en el sector de Mina Granate (muestra M17 del sondaje DDH17-GR-03) (Fig. 14A-B). Según las relaciones de corte, la actinolita se habría depositado posterior a la alteración de feldespato potásico.

También corta a la magnetita II y la calcopirita para el caso de Mina Granate (muestras M14 y M22 del sondaje DDH18-GR-17) (Fig.14C-D).

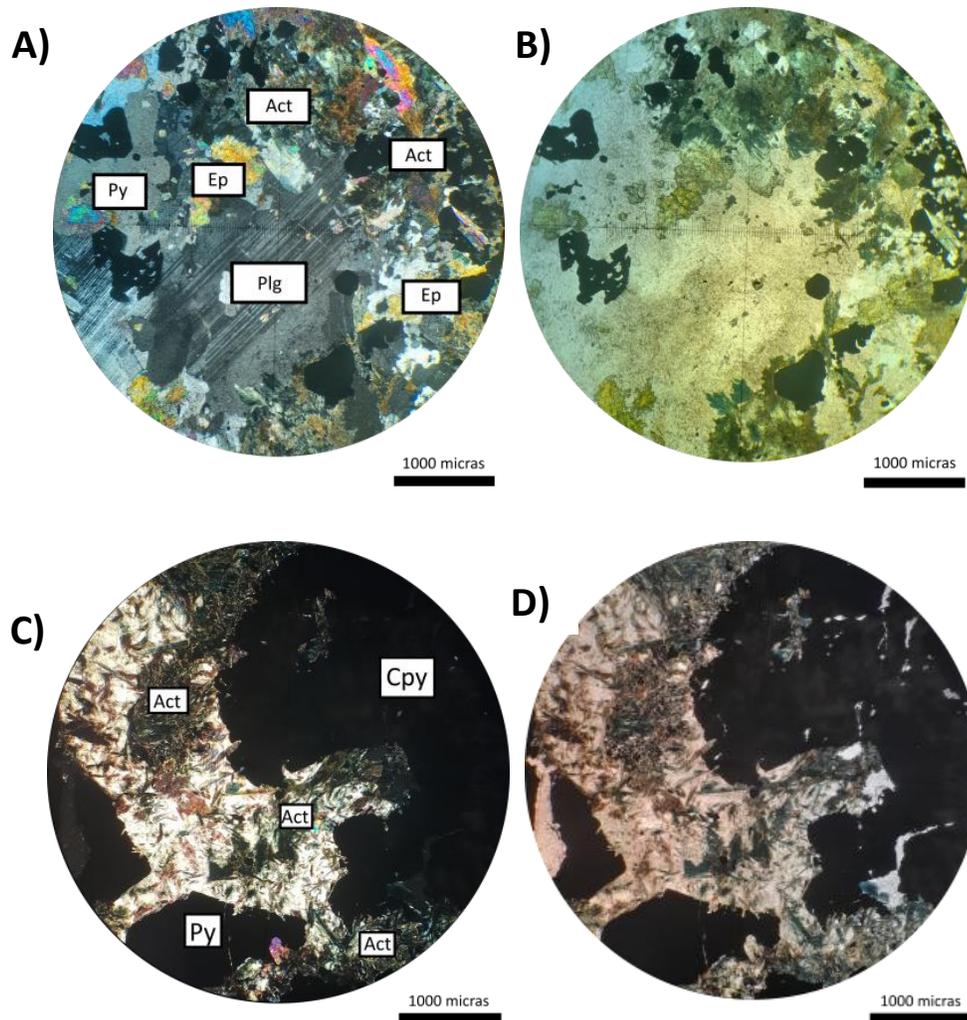


Figura 14.- A) Actinolita rica en hierro en una zona de plagioclasa y epidota en la muestra M17 del sondaje DDH17-GR-03 visible en NC y B) LPP. En las cercanías de cristales de pirita en la muestra M14 del sondaje DDH18-GR-17 vista en NC y D) LPP. Abreviatura: Act = actinolita, Cpy = calcopirita, Ep = epidota, Plg = plagioclasa, Py = pirita.

4.1.7. Piroxeno

Se reconoció piroxeno en Mina Granate, el cual es posterior a la alteración de feldespato potásico (muestras M7, M8 y M33 del sondaje DDH17-GR-03) (Fig. 10A). También se observa un caso especial de formación de piroxenos, los cuales están asociados con la mineralización de pirita y calcopirita (Fig. 15A-B) con cristales que varían entre 0.5 a 5 milímetros (muestra M28 del sondaje DDH18-GR-17).

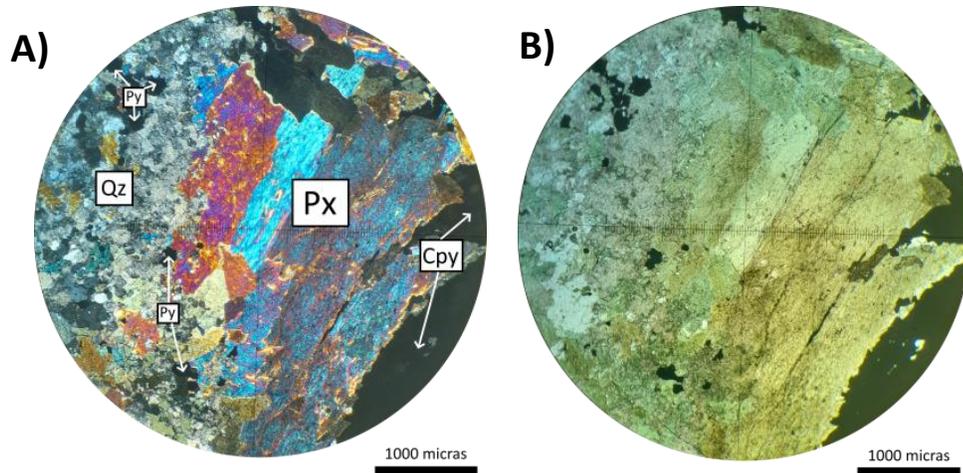


Figura 15.- A) Cristales de piroxeno en una zona de cuarzo cortadas por calcopirita (M7 del sondaje DDH17-GR-03) visto en NC y B) LPP. Abreviatura: Cpy = calcopirita, Px = piroxeno, Py = pirita, Qz = sílice.

4.1.8. Biotita alterada a clorita

En la Mina Mantos de Cobre se observan biotitas alteradas a clorita cortando cristales de pirita (Fig. 16A-B) y epidota (muestra M15 del sondaje DDH14-MC-18).

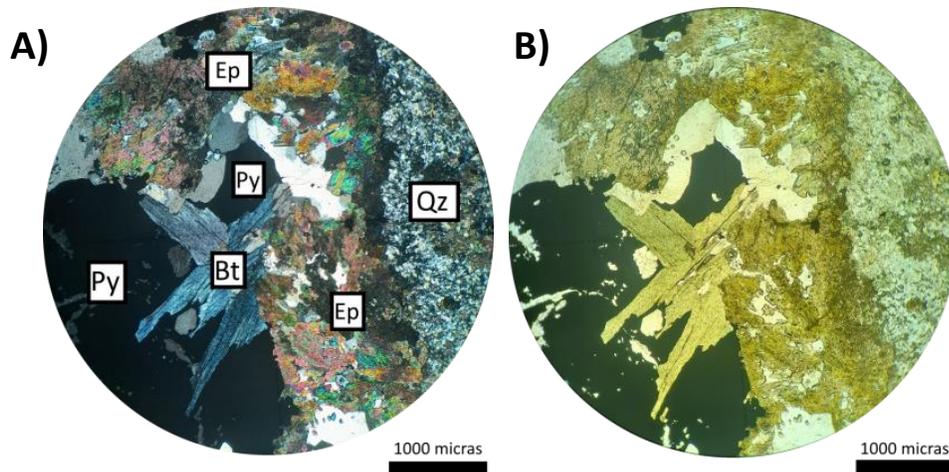


Figura 16.- A) Biotita alterada por clorita en una zona de epidota y sílice, cortando cristales de pirita (muestra M15 del sondaje DDH14-MC-18) visible en NC y B) en LPP. Abreviatura: Bt = biotita, Ep = epidota, Py = pirita, Qz = sílice.

4.1.9. Clorita II

Esta fase de clorita se caracteriza por ser de color verde oscuro en luz polarizada plana y solo fue reconocida en la Mina Punta del Cobre al interior de vetas de 2 cm de grosor (muestra M6 del sondaje DDH13-IR-12). Debido a su color pardo en nicoles cruzados se

infiere que es de tipo magnésica. Dentro de estas vetillas también se observan cristales de pirita anhedral (17A-B-C).

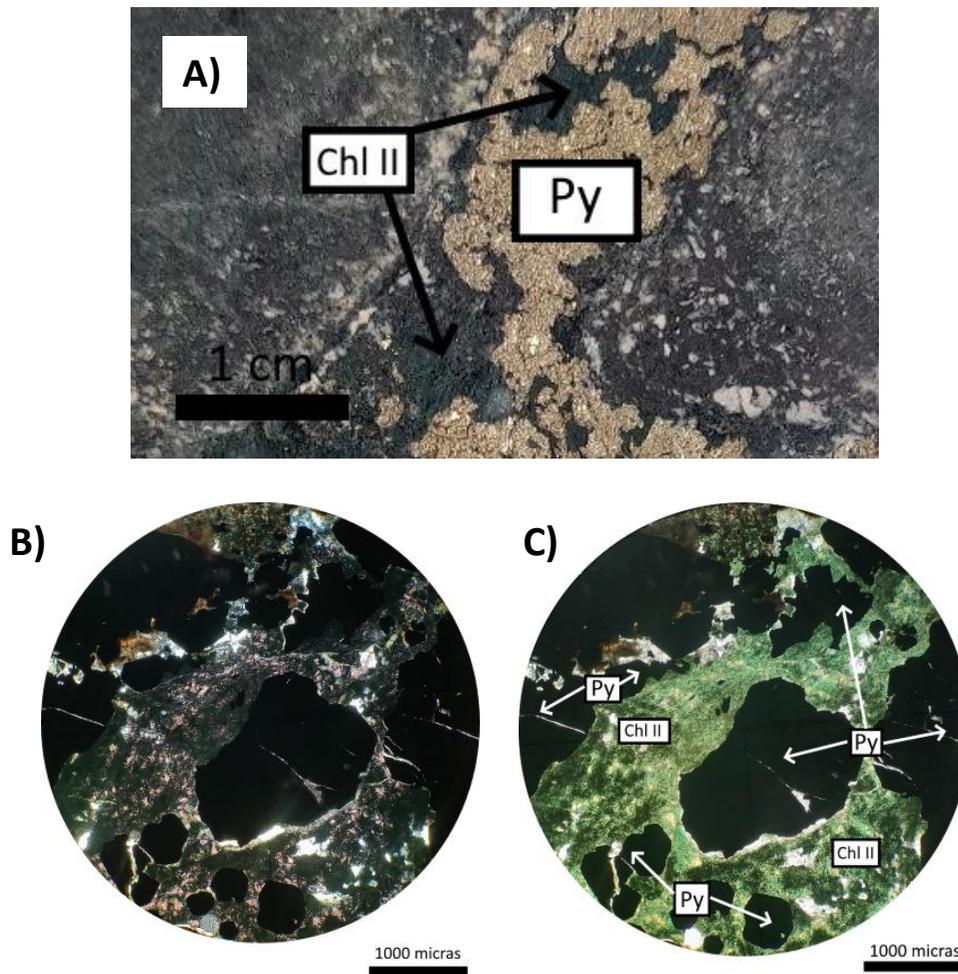


Figura 17.- A) Vetilla de clorita II con cristales de pirita en su interior correspondiente a la muestra M6 del sondaje DDH13-IR-12 visto en muestra de mano, B) en NC y C) en LPP. Abreviatura: Chl II = clorita II, Py = pirita.

4.1.10. Calcita

Las relaciones de corte demuestran que la calcita sería una de las alteraciones más tardías en el distrito rellenando vetillas de espesor entre 0.3 a 12 milímetros (Fig. 18A-B). Las vetas de calcita cortan la mineralización de calcopirita (Fig. 28B-C) y además es un evento que antecede a la mushketovita (Fig. 18C-D). En el sector de Mantos de Cobre la calcita se presenta en vetillas junto a calcopirita (muestra M5 del sondaje DDH14-MC-18).

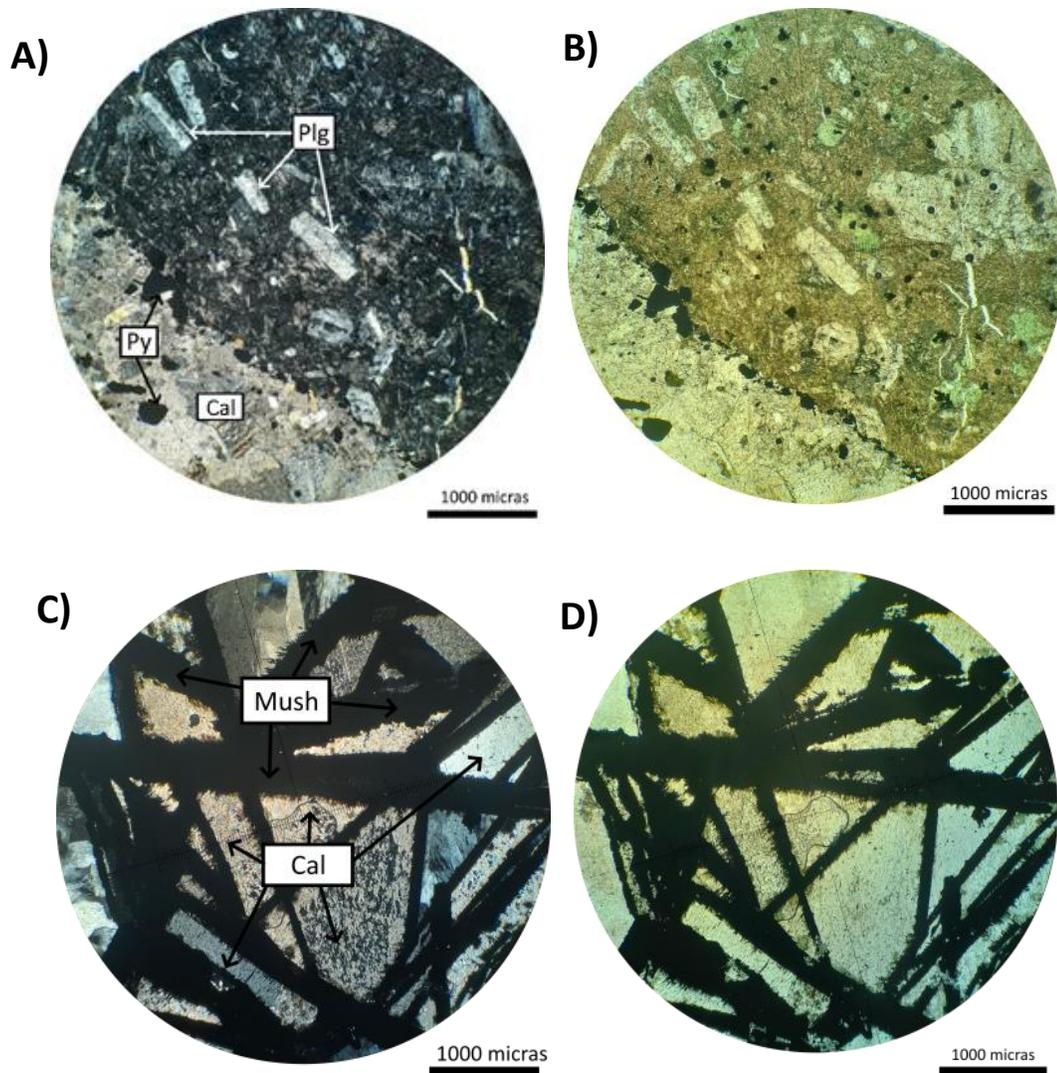


Figura 18.- A) Vetilla de calcita que intercepta una zona de roca de caja con plagioclasa correspondiente a la muestra M2 del sondaje DD14-IR-56 visto en NC y B) en LPP. C) Calcita cortada por mushketovita de la muestra M13 del sondaje DDH14-IR-56 visible en NC y D) en LPP. Abreviatura: Cal = calcita, Mush = mushketovita, Plg = plagioclasa, Py = pirita.

4.1.11. Anhidrita

Este mineral corresponde al evento hidrotermal más tardío en Mina Granate como vetas con grosores de 2.8 centímetros (muestra M36 del sondaje DDH17-GR-03) (Fig. 19A, 19B y 19C). Las vetillas de anhidrita también hospedan hematita especular (muestra M20 del sondaje DDH14-IR-56).

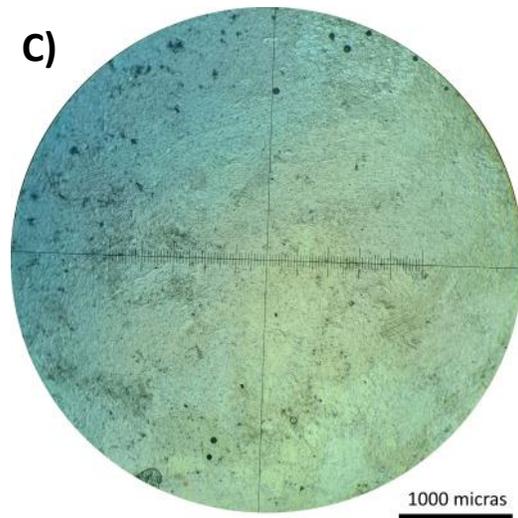
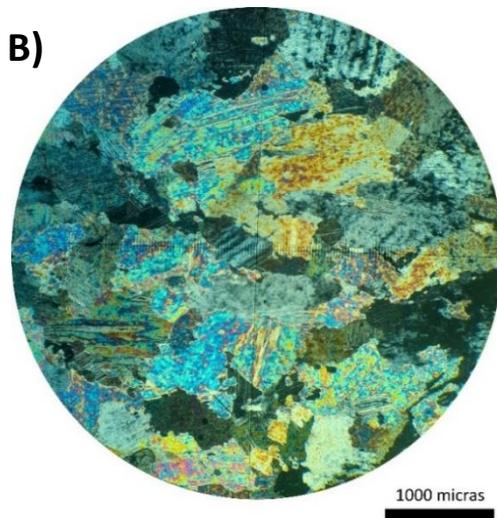
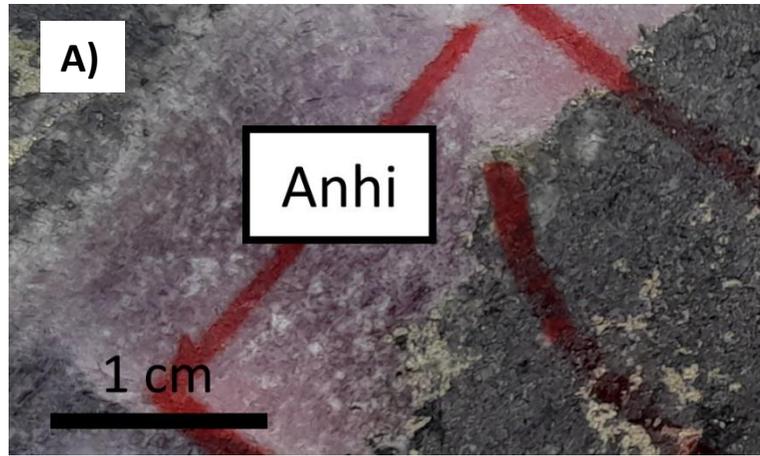


Figura 19.- A) Vetilla de anhidrita (muestra M36 del sondaje DDH17-GR-03) a través de muestra de mano. B) Vetilla de anhidrita vista en NC y C) en LPP. Abreviatura: Anhi = anhidrita.

4.2. Calcografía de óxidos de hierro

4.2.1. Hematita I

Esta fase mineral ocurre con una tonalidad rojiza que afecta a la roca de caja en Mina Punta del Cobre (muestra M8 del sondaje DDH14-IR-56). La hematita es cortada por vetillas de calcita y cristales finos subhedrales de pirita (Fig. 20A-B).

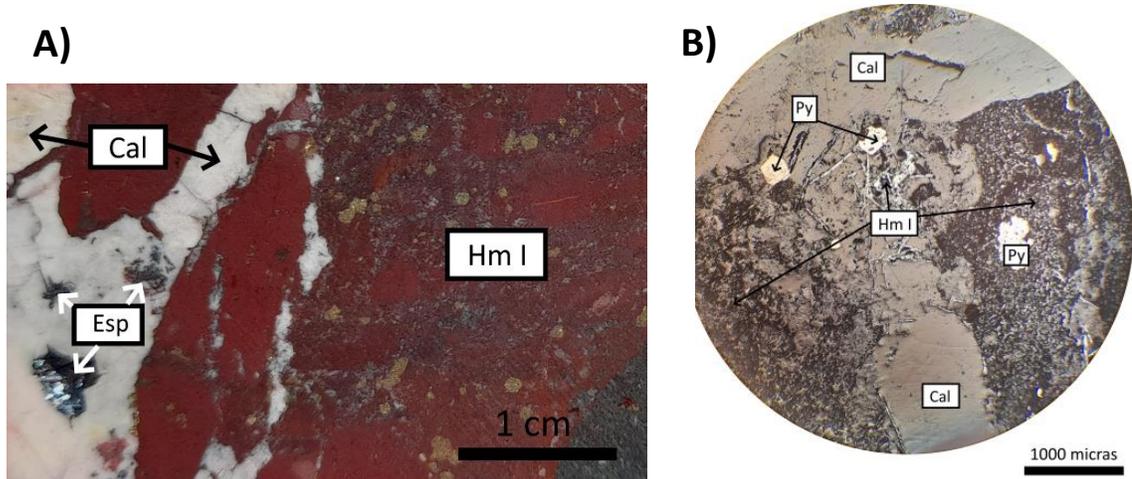


Figura 20.- A) Roca con alteración de hematita I cortada por vetillas de calcita con hematita especular y cristales de pirita (muestra M8 del sondaje DDH14-IR-56) visto como muestra de mano y B) en corte pulido. Abreviatura: Cal = calcita, Esp = hematita especular, Hm I = hematita I, Py = pirita.

4.2.2. Magnetita I

La magnetita I consiste en cristales de tamaño muy fino menores a 1 milímetro (Fig. 21), que están diseminados en la roca de caja. Esta fase es cortada por vetillas de pirita anhedral asociadas con magnetita II.

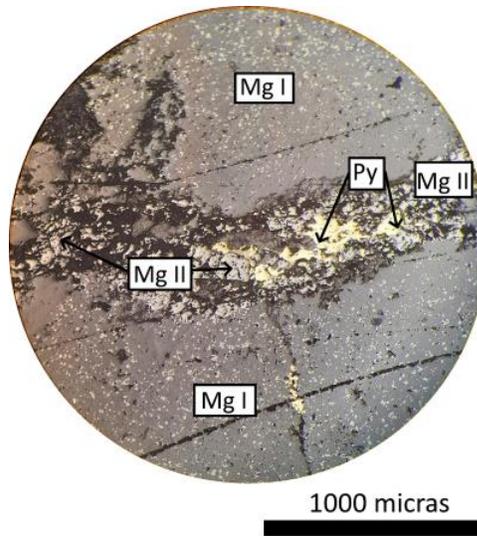


Figura 21.- Magnetita I diseminada en la roca alterada cortada por pirita y magnetita II (muestra M2 del sondaje DDH14-MC-16). Abreviatura: Mg I = magnetita I, Mg II = magnetita II, Py = pirita.

4.2.3. Hematita II

Se presenta al interior de vetillas que cortan a la roca de caja en las minas Punta del Cobre y Mantos de Cobre. En la Mina Punta del Cobre se observa que los cristales de hematita II rellenan los intersticios de los cristales subhedrales/euhedrales de pirita (Fig. 22A-B).

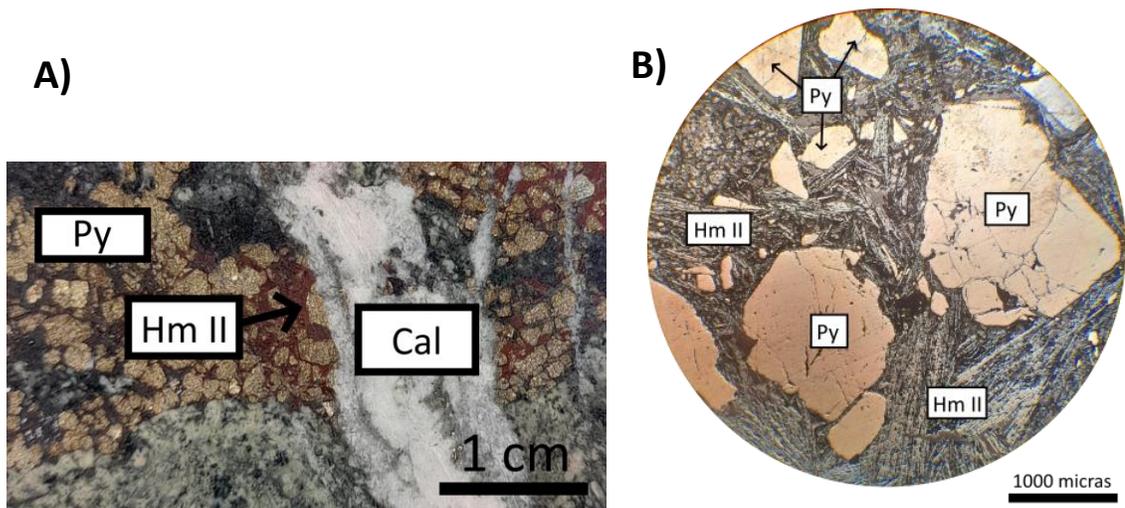


Figura 22.- A) Hematita II en los intersticios de los cristales de pirita y cortada por vetillas de calcita (muestra M2 del sondaje DDH14-IR-56) visto tanto en muestra de mano y B) en corte pulido. Abreviación: Hm II = hematita II, Py = pirita.

4.2.4. Hematita especular

Esta fase mineral se reconoce en la Mina Punta del Cobre (muestras M6 y M8 del sondaje DDH14-IR-56) como un evento asociado a la hematita II (Fig. 26A). También ocurre asociada a vetillas de calcita (Fig. 23A y 23B).

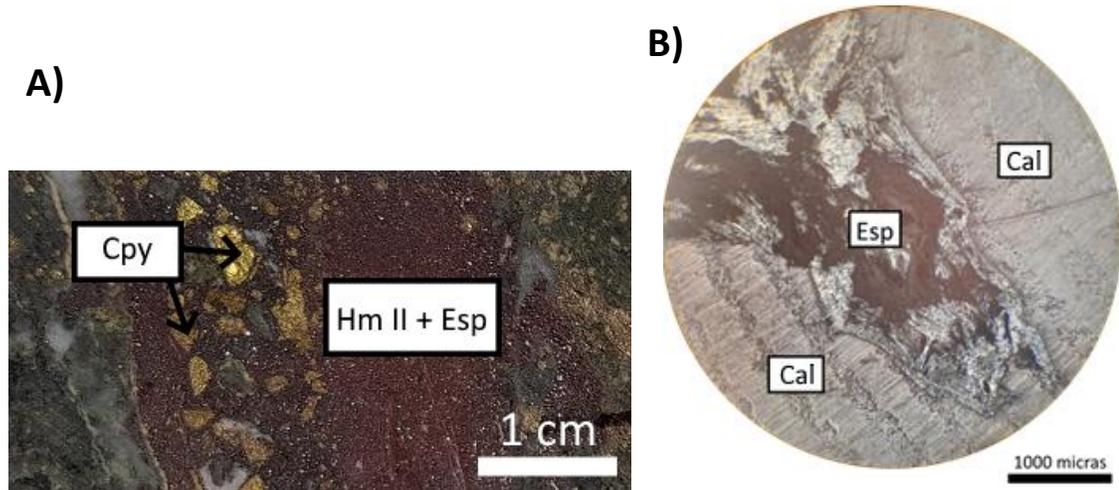


Figura 23.- A) Hematita especular asociada con hematita II en la muestra M6 del sondaje DDH14-IR-56 y B) hematita especular en una zona de calcita (muestra M8 del sondaje DDH14-IR-56). Abreviación: Cal = calcita, Cpy = calcopirita, Esp = hematita especular, Hm II = hematita II.

4.2.5. Magnetita II

La magnetita II se presenta como cristales de grano fino, generalmente distribuidos de modo masivo en la roca de caja. A diferencia de la magnetita I, esta generación coexiste con calcopirita y pirita. La magnetita II ocurre en los intersticios de la calcopirita y pirita anhedral, lo cual indicaría que es posterior a los sulfuros (Fig. 24)

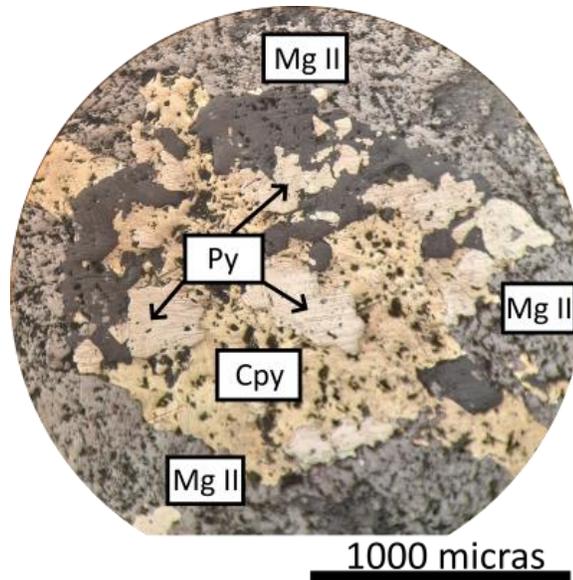


Figura 24.- Magnetita II asociada con pirita y calcopirita (muestra M4 del sondaje DDH14-MC-18). Abreviatura: Cpy = calcopirita, Mg II = magnetita II, Py = pirita.

4.2.6. Mushketovita

Este mineral ocurre como cristales aciculares que cortan a pirita y calcopirita (Fig. 25A). En la Mina Punta del Cobre (con las muestras M4, M5 y M22 del sondaje DDH18-TN-20) las vetillas de musketovita cortan a vetillas de calcita y sílice (Fig. 25B-C).

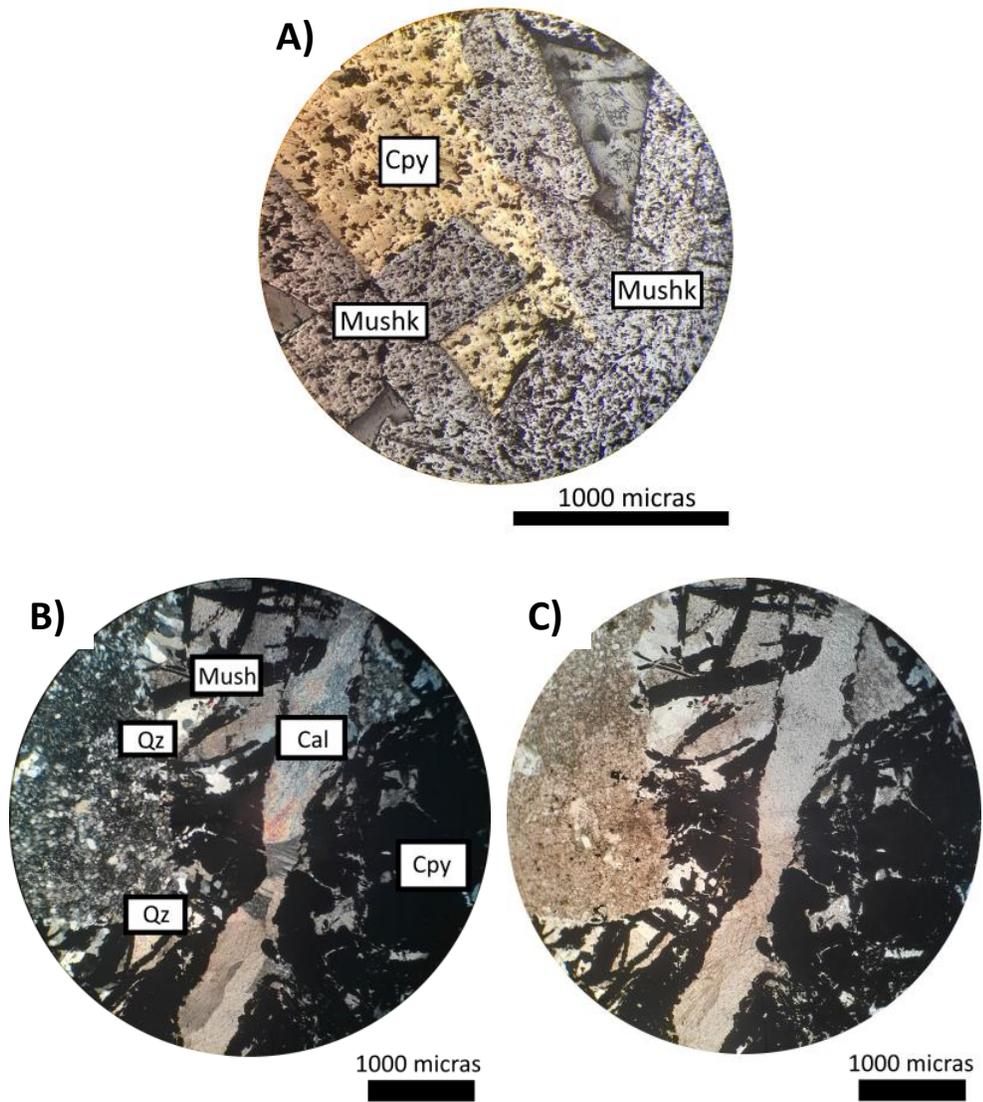


Figura 25.- A) Mushketovita cortando calcopirita en la muestra M13 del sondaje DDH14-IR-56. B) Mushketovita cortando calcita en la muestra M22 del sondaje DDH18-TN-20 visible en NC y C) en LPP. Abreviatura: Cal = calcita, Cpy = calcopirita, Mushk = mushketovita, Qz = sílice.

4.2.7. Goethita

La goethita es visible en Mantos de Cobre (muestra M8 del sondaje DDH17-MC-18; muestras M29 y M30 del sondaje DDH14-MC-16) y en Mina Granate (muestras M9, M10, y M28 del sondaje DDH18-GR-17), ocurriendo como vetillas que cortan a la calcopirita (Fig. 26A-B).

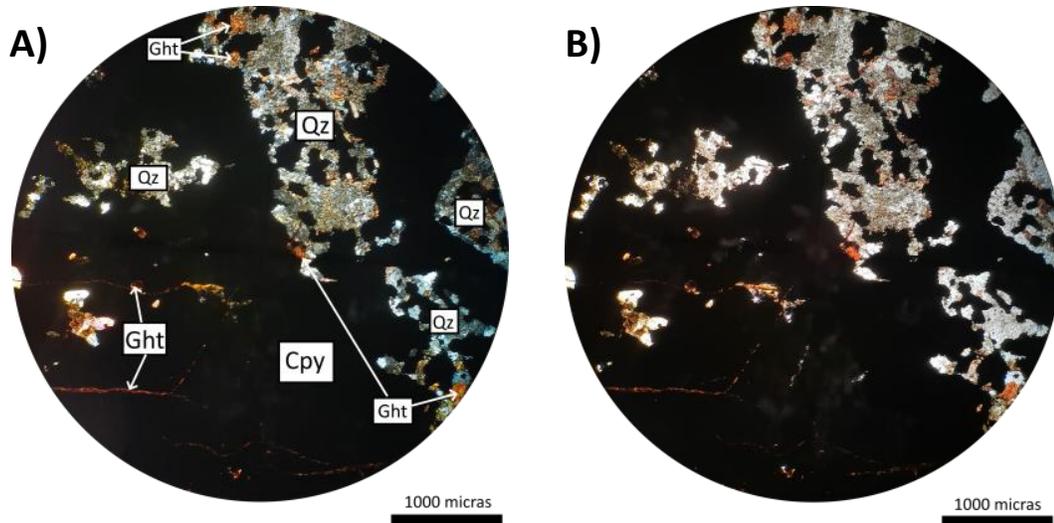


Figura 26.- A) Goethita cortando calcopirita en una zona de sílice (muestra M10 del sondaje DDH18-GR-17) visto en NC y (B) en LPP. Abreviatura: Cpy = calcopirita, Ght = goethita, Qz = sílice.

4.2.8. Jarosita

Se reconoce en la Mina Punta del Cobre (muestra M1 del sondaje DDH13-IR-12) y ocurre como vetillas junto a la calcita, las cuales interceptan una zona con mineralización de pirita. (Fig. 27A-B).

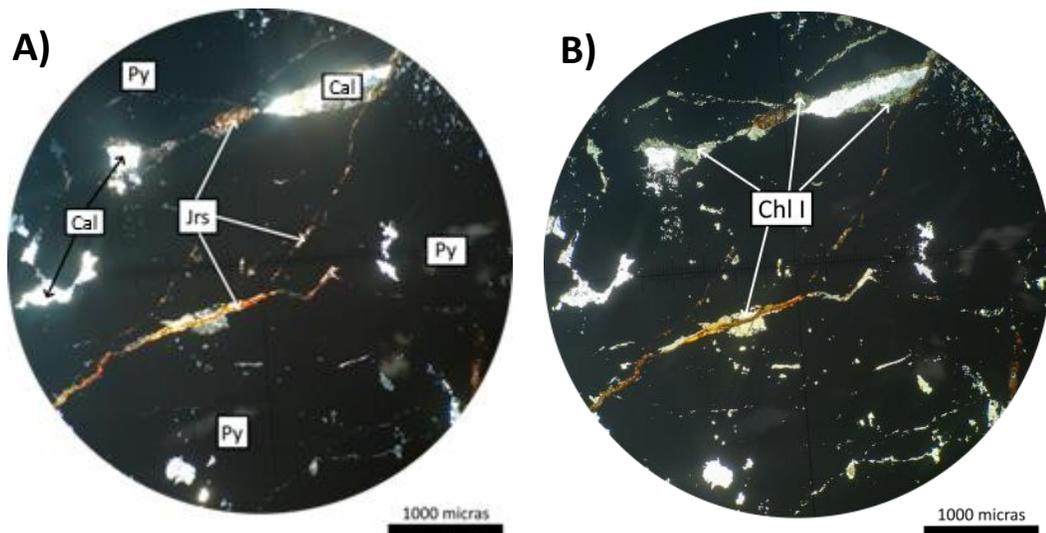


Figura 27.- A) Jarosita cortando pirita y asociada con calcita (muestra M1 del sondaje DDH13-IR-12), visto a través de NC y B) LPP. Abreviatura: Cal = calcita, Chl I = clorita I, Jrs = jarosita, Py = pirita.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN

5.1. Similitud y diferencias en los eventos de alteración-mineralización en los 3 depósitos

Una vez realizados los análisis petrográficos y calcográficos de la totalidad de las muestras seleccionadas, es posible establecer diferencias en los ensamblajes de alteración y mineralización entre las 3 minas estudiadas.

Para el caso particular de Mina Granate, en este depósito se identifica de manera exclusiva actinolita rica en hierro, pirrotina y anhidrita (Fig. 28), mientras que biotita cloritizada solo fue observada en Mina Mantos de Cobre (Fig. 29). Finalmente, clorita II, hematita I, hematita especular y jarosita se restringen exclusivamente a Mina Punta del Cobre (Fig. 30).

Eventos hidrotermales asociados a piroxeno, anfíboles indiferenciados y goethita fueron reconocidos tanto en Granate como en Mantos de Cobre (Figs. 28 y 29), mientras que la hematita II fue observada en Mantos de Cobre y Punta del Cobre (Figs. 29 y 30).

Por último, los eventos de alteración relacionados a la depositación de feldespato potásico, sílice, epidota, clorita I, magnetita (I y II), pirita, calcopirita, calcita y mushketovita fueron reconocidos en las 3 minas (Figs. 28, 29 y 30).

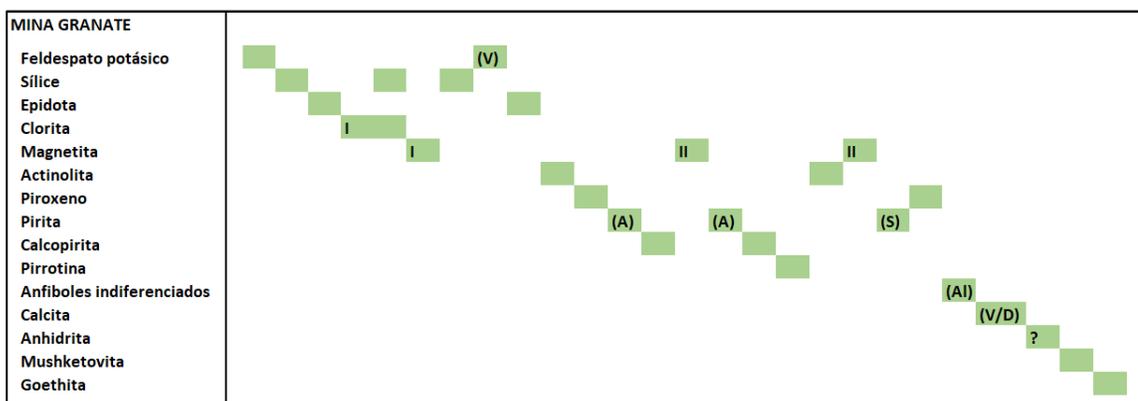


Figura 28.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para los minerales encontrados en Mina Granate (elaboración propia). Abreviatura: A = cristales anhedrales; A = cristales anhedrales; AI = cristales alargados; D = diseminado; S = cristales subhedrales; V = vetiforme; ? = inferido.

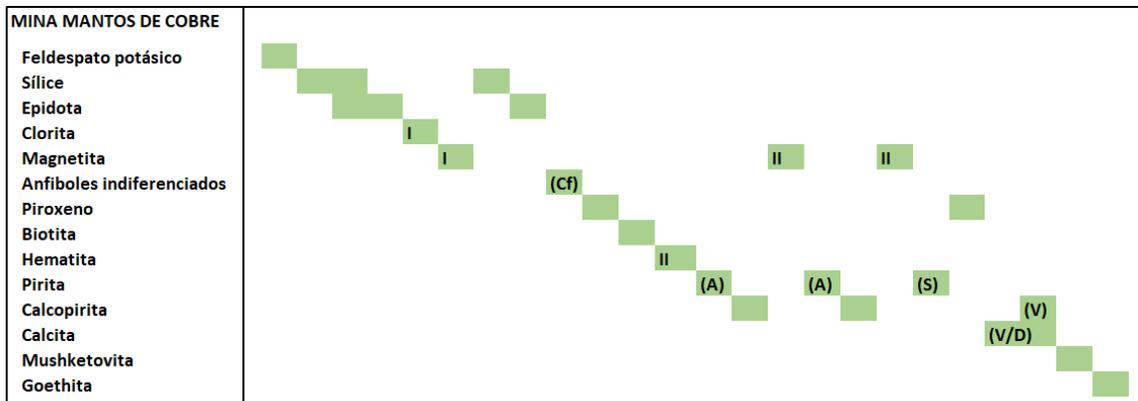


Figura 29.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para los minerales encontrados en Mina Mantos de Cobre (elaboración propia). Abreviatura: A = cristales anhedrales; Cf = cristales de grano fino; D = diseminado; S = cristales subhedrales; V = vetiforme.

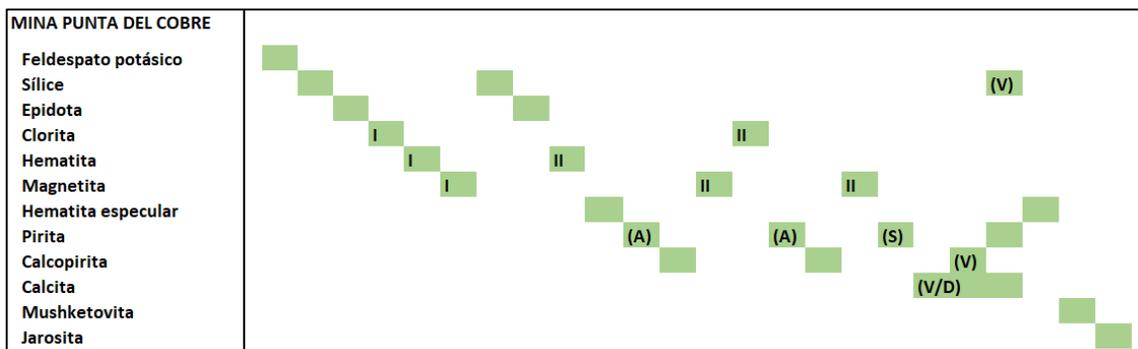


Figura 30.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para los minerales encontrados en Mina Punta del Cobre (elaboración propia). Abreviatura: A = cristales anhedrales; D = diseminado; S = cristales subhedrales; V = vetiforme.

5.2. Cronología relativa de los óxidos de hierro a nivel distrital

Integrando los diferentes ensamblajes mineralógicos de alteración y mineralización de las 3 minas estudiadas (Fig. 31), es posible proponer una secuencia cronológica para los diferentes eventos de mineralización de los óxidos de hierro a nivel de distrito.

La etapa más temprana corresponde a la depositación de hematita I, la cual solo es evidente en Mantos de Cobre, no observándose este evento en Mina Granate.

Posteriormente, se habría depositado magnetita I, la cual puede ser observada en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre. Se distribuye de forma diseminada en la roca de caja con granos de tamaño muy fino (menor a 0.1 mm).

Luego ocurriría la mineralización de hematita más tardía o “hematita II” (Hm II), la cual ocurre en las minas Mantos de Cobre y Punta del Cobre, que se desarrolla en vetillas que cortan a la roca de caja, donde se encuentra asociada a hematita especular/especularita, calcopirita y pirita.

Como evento posterior de mineralización ocurre la hematita especular, que solo es evidente en la Mina Punta del Cobre, asociada con el pulso mineralizador de hematita II, pirita y calcopirita y con vetillas de calcita.

La segunda fase de mineralización de magnetita, definida como “magnetita II” (Mg II), ocurre en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta de Cobre, y consiste en cristales anhedrales de mayor tamaño. Su particularidad es que se desarrolla en vetas, asociada con sulfuros como la pirita y la calcopirita.

La siguiente fase de óxidos de hierro corresponde a la mushketovita, encontrada en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre, la cual corta la calcita diseminada y en vetillas. Posteriormente ocurre la alteración de goethita en las minas Granate y Mantos de Cobre (que se deposita posterior a los eventos mineralizadores de pirita y calcopirita) y por último la jarosita en la Mina Punta del Cobre, asociada con las vetillas de calcita.

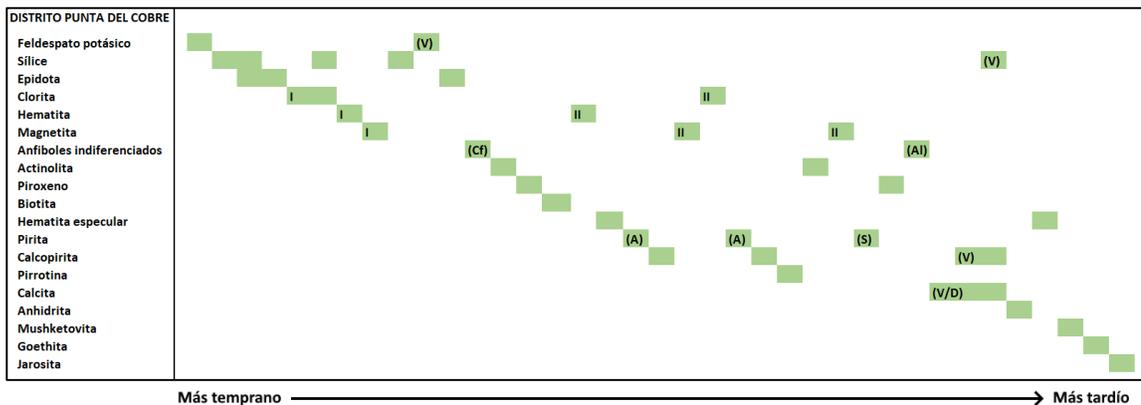


Figura 31.- Tabla de secuencia geocronológica relativa para el distrito Punta del Cobre, en base a los minerales descubiertos en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre (elaboración propia). Abreviatura: A = cristales anhedrales; Al = cristales alargados; Cf = cristales de grano fino; D = diseminado; S = cristales subhedrales; V = vetiforme.

5.3. Comparación entre este trabajo y Marschick y Fontboté (2001)

Considerando la secuencia paragenética definida por Marschick y Fontboté (2001), para el distrito Candelaria-Punta del Cobre (Fig. 32), a continuación se detallan las comparaciones respecto a los ensamblajes mineralógicos definidos en este estudio (ambos trabajos, están reflejados en las secuencias paragenéticas de las figuras 28, 29, 30 y 31).

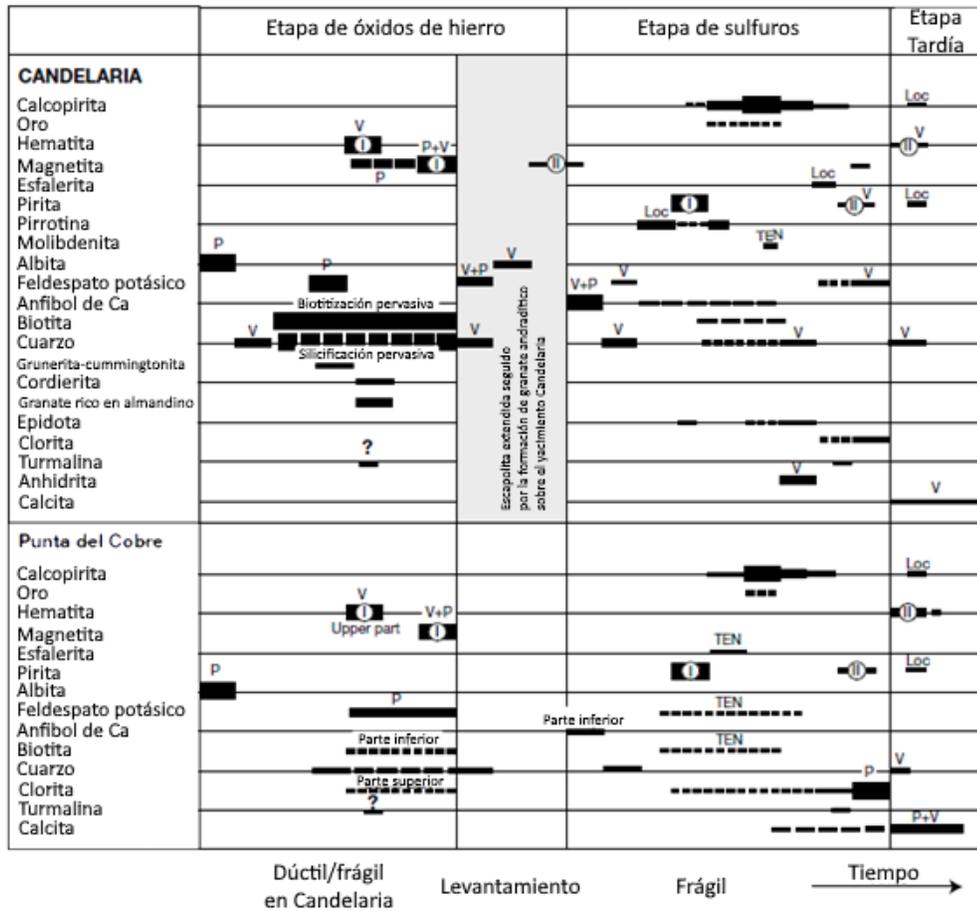


Figura 32.- Secuencia paragenética minerales de mena, de ganga y de alteración en Candelaria y el distrito Punta del Cobre. Abreviatura: P = alteración pervasiva; TEN = tentativo; V = vetillas; ? = incierto. (Modificado de Marschick & Fontboté, 2001).

En Mina Granate, según Marschick y Fontboté (2001), los eventos hidrotermales comienzan con una secuencia de alteraciones que involucra albita, sílice, biotita y feldespato potásico, seguido de un evento de mineralización de óxidos de hierro que consiste en hematita temprana vetiforme y posteriormente magnetita temprana pervasiva. Sin embargo, en esta investigación se establece que primero ocurre una secuencia de

alteraciones asociadas a feldespato potásico, sílice, epidota (pistacita) y clorita I, y posteriormente toma lugar el primer evento mineralizador de óxidos de Fe en la mina que correspondería a magnetita I, sin registros de hematita. Además Marschick y Fontboté (2001) establecen un evento de magnetita más tardía durante la formación de escapolita, seguido por la depositación de granate andradítico en el yacimiento Candelaria. No obstante, en este proyecto la magnetita más tardía que se define como “magnetita II” ocurre después de una secuencia de mineralización con actinolita rica en Fe, piroxeno, pirita y calcopirita.

Tanto en este trabajo como en Marschick y Fontboté (2001), se reconoce un evento de mineralización de magnetita posterior a un evento de pirita y calcopirita, el cual también fue definido en este trabajo como magnetita II.

Por otra parte, el trabajo de Marschick y Fontboté (2001) describe un evento de hematita más tardía asociado a calcita y un evento de pirita y calcopirita. En esta tesis no hay registros de aquella hematita, sin embargo posterior a la alteración a calcita toma lugar la ocurrencia de mushketovita y goethita.

Para el caso de las minas Mantos de Cobre y Punta del Cobre, la investigación de Marschick y Fontboté (2001) determina como evento más temprano una alteración con albita y sílice, seguido por mineralización de hematita vetiforme temprana y después de magnetita temprana, ambas asociadas con alteraciones de sílice, feldespato potásico, biotita y epidota (estos últimos dos presentes en la zona inferior de Punta del Cobre). En tanto, esta investigación describe como alteración más temprana al feldespato potásico, sílice, clorita y epidota (pistacita en Punta del Cobre y zoisita en Mantos de Cobre) que es sucedida por un evento mineralizador de hematita I (en Punta del Cobre) y luego de magnetita I (Punta del Cobre y Mantos de Cobre). En el trabajo de Marschick y Fontboté (2001) no se tienen más eventos posteriores de magnetita, donde el último evento mineralizador de óxidos de hierro corresponde a una hematita tardía asociada a calcita, posterior a un evento de mineralización de sulfuros con pirita y calcopirita.

Por otra parte en este proyecto de investigación se plantea que posterior a la hematita I y magnetita I ocurre una secuencia de alteración de sílice y epidota en Mantos de Cobre y

Punta del Cobre, seguido por anfíboles indiferenciados, piroxeno y biotita en Mantos de Cobre, desarrollándose posteriormente la hematita II para ambas minas, seguida por hematita especular en Punta del Cobre y dos eventos mineralizadores seguidos de pirita, calcopirita y magnetita II en Mantos de Cobre y Punta del Cobre (con una alteración adicional de clorita II vetiforme en esta última). Finalmente, ocurre un evento de calcita asociada con calcopirita (en ambas minas) y sílice (solo en Punta del Cobre), seguido por secuencias de óxidos de hierro con mushketovita y goethita en Mantos de Cobre, y con hematita especular, mushketovita y jarosita en Punta del Cobre.

5.4. Implicancias metalogénicas para el distrito

Los resultados de esta investigación permiten inferir una interpretación metalogénica del distrito a partir de su secuencia paragenética (Fig. 31)

En primer lugar, la ocurrencia de feldespato potásico en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre, indicaría que las fases más tempranas del sistema hidrotermal estarían asociadas a fluidos ricos en potasio, en condiciones de pH neutro a alcalino y con una temperatura entre 450 a 600°C (Pirajno, 2013).

Las alteraciones de clorita y epidota en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre, indicarían un enfriamiento del sistema hidrotermal, donde habrían dominado condiciones de pH neutro a alcalino, con temperaturas menores a 370°C (Xavier et al., 2012).

La silicificación ocurrida en Mina Granate puede estar asociada a fluidos ricos en sílice exsueles en las zonas más proximales al plutón mineralizante, los cuales se transportaron a través de fracturas y venas (Zappettini, 2005).

La mineralización de hematita para este distrito minero se relaciona a la circulación de fluidos hidrotermales ricos en Fe, los cuales migran en un ambiente altamente oxidante, coincidiendo con un progresivo enfriamiento del sistema (Del Real et al., 2020).

La mineralización de magnetita hidrotermal ocurre como disseminaciones y relleno de vetas durante la alteración temprana de cuarzo-anfíbol, la cual es compatible con un rango de temperatura de formación entre 500 a 600°C (Marschik y Fontboté, 2001).

La ocurrencia de una brecha hidrotermal con matriz de cuarzo en Mantos de Cobre, se asociaría a procesos locales de despresurización hidrotermal la cual generaría hidrofracturamiento en las rocas hospedantes y un incremento en la tasa de descarga de los fluidos hidrotermales (Fournier, 1999).

En Mina Granate la presencia de actinolita es compatible con fluidos en un rango de temperatura entre 550 y 800°C (Del Real et al., 2021).

La hematita especular en la Mina Punta del Cobre representa un reemplazo de magnetita por el incremento en la fugacidad del oxígeno, debido a una condición oxidante o de altas temperaturas (Marschik y Fontboté, 2001).

La pirita detectada en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre se forma en ambientes pobres de oxígeno, a través de la sulfuración de magnetita en presencia de fluidos que contienen azufre y cuya ocurrencia en ambientes hidrotermales se da en un rango de temperatura entre 328 a 470°C (Marschik y Fontboté, 2001).

La ocurrencia de calcopirita vetiforme en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta de Cobre se asocia a la migración a través de las fracturas de fluidos hidrotermales ricos en Fe-Cu-S, a temperaturas entre 328 a 470°C (Marschik y Fontboté, 2001).

La presencia de anhidrita en Mina Granate es indicador de un ambiente reductor desarrollado en la zona hipógena del sistema (Chukhrov et al., 1977).

La mushketovita en las minas Granate, Mantos de Cobre y Punta del Cobre se forma debido al reemplazo de hematita por magnetita durante procesos de reducción del sistema hidrotermal junto a un incremento de la temperatura debido a que el sistema hidrotermal alcanza su clímax y/o interacción de fluido oxidante con el Fe^{+2} contenido en la roca de caja (Marschick y Fontboté, 2001; Del Real et al., 2020).

Las alteraciones que afectan a los óxidos de Fe y los sulfuros de Fe-Cu, y que resultan en goethita (Mina Granate y Mina Mantos de Cobre) y jarosita (Mina Punta del Cobre) revelan la sobreimposición tardía de un ambiente oxidante de tipo supergeno (Clark, 2014).

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han definido cinco etapas principales para la depositación de los óxidos de hierro en el distrito Punta del Cobre:

(1) Hematita temprana como matriz de brecha hidrotermal en la mina Punta del Cobre, la cual es posterior a las alteraciones de feldespato potásico, sílicea, epidota (pistacita/zoisita) y clorita.

(2) Magnetita de grano fino que se deposita posterior a las alteraciones de feldespato potásico, sílicea, epidota y clorita y a la hematita temprana.

(3) Hematita ± hematita especular depositada posterior a la formación de cristales de anfíboles indefinidos, actinolita, piroxeno y biotita con alteración a clorita.

(4) Magnetita ± pirita ± calcopirita como matriz de brecha hidrotermal

(5) Hematita especular, mushketovita, goethita y jarosita posterior a la formación de anhidrita y a las vetillas de calcita ± cuarzo ± calcopirita.

Desde el punto de vista metalogénico, las etapas hidrotermales más tempranas en el distrito generaron la depositación de los diferentes óxidos de Fe, tales como magnetita y hematita, en condiciones de alta fugacidad de oxígeno y baja fugacidad de azufre. Posteriormente, el sistema hidrotermal experimentó aumentos cíclicos en la fugacidad de azufre y oxígeno, lo cual gatilló a la precipitación alternada tanto de sulfuros de Fe y Fe-Cu, tales como pirita y calcopirita, como de óxidos de Fe (magnetita, hematita especular, mushketovita).

Finalmente, la exposición de los sulfuros y óxidos de Fe a condiciones supérgenas, generó la formación de jarosita y goethita respectivamente.

Para generar una mejor comprensión de la metalogénesis del distrito se recomienda realizar estudios químico-mineralógicos de alta resolución mediante SEM-EDS y QEMSCAM, esto con el objetivo de identificar y caracterizar algunas fases minerales específicas y establecer el control mineralógico y distribución de ciertos elementos estratégicos, tales como el Co, Ce, La, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, C., Grocott, J., Martin, W., Pringle, M., Taylor, G. (2006). *Structural setting of the Candelaria Fe-oxide Cu-Au deposit. Chilean Andes (27° 30' S)*. Econ. Geol. (101): 819-841.
- Barton, M., Johnson, D. (1996). *Evaporitic source model for igneous-related Fe oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization*. Geology, (24): 259-262.
- 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.
- Brown, M., Díaz, F., Grocott, J. (1993). *Displacement history of the Atacama fault system 25°00'S–27°00'S, northern Chile*. Geol. Soc. Am. Bull. (105):1165–1174
- Camus, F. (1980). *Posible modelo genético para los yacimientos de cobre del distrito minero Punta del Cobre*. Revista Geológica de Chile. (11): 51-76.
- Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M.P. (2007). *Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogeny in Chile*. The Geology of Chile: 21-114.
- Clark, D. (2014). *Magnetic effects of hydrothermal alteration in porphyry copper and iron-oxide copper-gold systems: A review*. Tectonophysics (624-625): 46-65.
- Chukhrov, F.V., Ermilova, L.P., Nosik, L.P. (1977). *Isotopic Composition of Sulphur and the Genesis of Hydrothermal Sulphates*. Time- and Strata-Bound Ore Deposits: 384-395.
- COCHILCO (2009). *Franjas metalogénicas de los Andes Centrales: blancos clave para la exploración minera*. 61 pp.
- Del Real, I., Thompson, J., Carriedo, J. (2018). *Lithological and structural control of the génesis of the Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Copper Gold district, Northern Chile*. Ore Geology Reviews (2018), (102): XXX-XXX.

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*, v.115, (7): 1493-1517.

Del Real, I., Reich, M., Simon, A.C., Deditius, A., Barra, F., Rodríguez-Mustafa, M.A., Thompson, J.F.H., Roberts, M.P. (2021). *Formation of giant iron oxide-copper-gold deposits by superimposed, episodic hydrothermal pulses*. *Common Earth Environment* 2 (1): 192.

Fournier, R.O. (1999). *Hydrothermal Processes Related to Movement of Fluid From Plastic into Brittle Rock in the Magmatic-Epithermal Environment*. *Economic Geology*, 94 (8): 1193-1211.

Hervé, A.M. (1987). *Movimiento sinistral en el Cretácico Inferior de la zona de falla Atacama al norte de Paposo (24°S), Chile*. *Rev. Geol. Chile* (31): 37–42.

Hitzman, M. (2000). *Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why*. En: Porter TM (ed) *Hydrothermal iron oxide-copper-gold and related deposits: A global perspective*. Australian Mineral Foundation, Adelaide, pp. 9-25.

Hitzman, M., Oreskes, N., Einaudi, M. (1992). *Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-Au-U-Ree) deposits*. *Precamb. Res.* (58): 241-287.

Lagas, G., Reich, M., Deditius, A., Chryssoulis, S., Barra, F., Munizaga, R. (2015). *Química Mineral de Pirita del Yacimiento Los Colorados, III Región de Atacama, Chile*. XIV Congreso Geológico Chileno.

Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F. (2007). *Metallic ore deposits*. En *Geology of Chile*, editado por Moreno, T., Gibbons, W., 179-1999. Londres: The Geological Society, 2007.

Marschik, R., Fontboté, L. (1996). *Copper(-iron) mineralization and superposition of alteration events in the Punta del Cobre belt, northern Chile*. En: Camus, F., Sillitoe, R.H., Peterson, R. (eds) *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny*. Soc. Econ. Geol. Spec. Publ, (5): 171-190.

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* (1997), (32): 531-546.

Marschik, R., Fontboté, L. (2001). *The Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au(-Zn-Ag) Deposits, Chile*. *Economic Geology*, (96): 1799-1826.

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* (2003), (38): 900-912.

Marschik, R., Söllner, F. (2006). *Early Cretaceous U-Pb zircon ages for Copiapó plutonic complex and implications for the IOCG mineralization at Candelaria, Atacama Region, Chile*. *Miner Deposita* (2006), (41): 785-801.

Nyström, J.O., Henríquez, F. (1994). *Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden; ore textures and magnetic geochemistry*. *Econ. Geol.*, (89): 820-839.

Nyström, J.O., Billström, K., Henríquez, F., Fallick, A.E., Naslund, H.R., (2008). *Oxygen isotope composition of magnetite in iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden*, *GFF* (130): 177-188.

Oyarzún, R., Rodríguez, 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* (1999), (34): 799-801.

- Park, C.F. (1961). *A magnetite "flow" in northern Chile*. *Econ. Geol.*, (56): 431-436.
- Pincheira, M., Frutos, J., Hernández, L., Zamarreño, J. (1994). *Antecedentes mineralógico-texturales en la mineralización estrato-ligada del distrito Punta del Cobre, Chile*. Proc. 7th Chilean Geologic Congress, Vol. 2, pág. 973-977, Concepción, Chile.
- Pincheira, M., Rodriguez, M., Helle, S., Kelm, U., Frutos, J. (1997). *El cobalto y níquel en sulfuros (Py, Cpy) como indicadores de la fuente de metales y ambiente de formación del depósito*. Proc. 8th Chilean Geologic Congress, Vol. 2, pág. 1104-1108, Antofagasta, Chile.
- Pirajno, F. (2013). *Effects of Metasomatism on Mineral Systems and Their Host Rocks: Alkali Metasomatism, Skarn, Greisens, Tourmalinites, Rodingites, Black-Wall Alteration and Listvenites*. En: Harlov, D.E., Austrheim, H. (eds). *Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock*: 203-251.
- Pollard, P. (2000). *Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization*. En: Porter TM (ed) *Hydrothermal iron oxide-copper-gold and related deposits: A global perspective*. Australian Mineral Foundation, Adelaide, pp. 27-41.
- Ray, G., Lefebure, D. (2000). *A synopsis of iron oxide ± Cu ± Au ± P ± REE deposits of the Candelaria-Kiruna-Olympic Dam family*. Geological fieldwork (1999). BC Ministry Energy Mines Pap 2000-1, 267-271.
- Requia, K., Stein, H., Fontboté, L., Chiaradia, M. (2003). *Re-Os and Pb-Pb geochronology of the Archean Salobo iron-oxide copper gold deposit, Carajás mineral province, northern Brasil*. *Miner Deposita* (38): 727-738.
- Salazar, E., Barra, F., Reich, M., Simon, A., Leisen, M., Palma, G., Romero, R., Rojo, M. (2020). *Trace element geochemistry of magnetite from the Cerro Negro Norte iron oxide-apatite deposit, northern Chile*. *Mineralium Deposita* (2020), (55): 409-428.
- Scheuber, E., Andriessen, P.A.M. (1990). *The kinematic and geodynamic significance of the Atacama Fault Zone, northern Chile*. *J. Struct. Geol.* (12):243–257

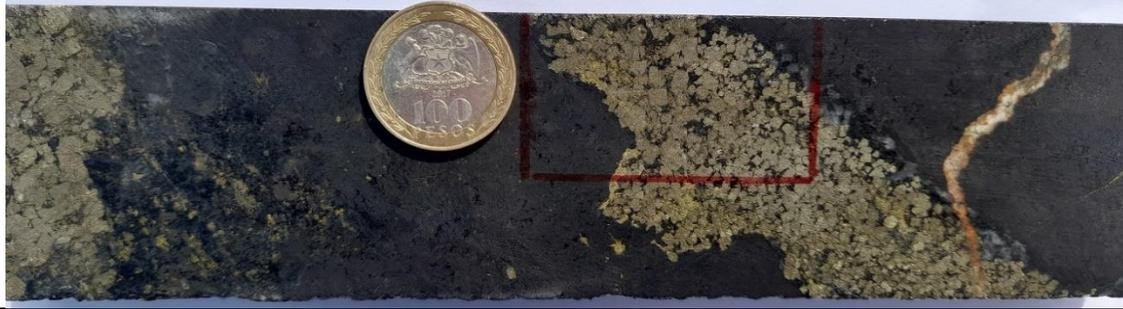
Sillitoe, R.H. (2003). *Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view*. Mineralium Deposita (2003), (38): 787-812.

Vivallo, W. (2009). *Yacimientos de óxidos de hierro-cobre-oro en Chile*. XII Congreso Geológico Chileno: 22-26.

Xavier, R., Montero, L., Moreto, C., Pestilho, A.L., Melo, G., Silva, M.A., Aires, B., Ribeiro, C., Freitas e Silva., F. (2012). *The Iron Oxide Copper-Gold Systems of the Carajás Mineral Province, Brazil*. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe: 433-454.

Zappettini, E.O. (2005). *Principios de Metalogenia y su aplicación a la evaluación del potencial minero argentino (curso)*. Servicio Geológico Minero Argentino.

ANEXO

Sondaje	DDH13-IR-12	Muestra	M1
Observaciones macroscópicas / microscópicas			
La muestra corresponde a una andesita con una alteración de clorita, la cual es afectada por un evento mineralizador de magnetita masiva. Posteriormente una veta de calcita con mineralización de pirita y después de calcopirita reemplaza parte de la roca, concluyendo con la aparición de calcita aún más tardía en forma de vetilla, junto con alteraciones de óxidos de hierro, representado por la alteración de jarosita.			
Fotografía de corte (aspecto general)			
			

	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a la alteración y la mineralización.
Alteración	Clorita I	15	Corresponde a la alteración de la roca de caja.
	Epidota (Zoisita)	2	Corresponde a la alteración de la roca de caja.
	Sílice	1	Cristales anhedrales de 0.6-1.4 mm que son paralelos a la mineralización de pirita-calcopirita.
	Jarosita	1	Vetilla tardía de 2mm de espesor que corta tanto a la roca como a la mena, además de manifestarse en los intersticios de la mena de pirita.
	Calcita	1	Vetilla tardía de 2 mm de espesor que corta tanto a la roca como a la mena.
Mena	Magnetita I	60	Cristales muy finos, diseminados por la roca alterada.
	Pirita	13	Cristales subhedrales y euhedrales desarrollados en conjunto, posteriores a la mineralización de magnetita I.
	Calcopirita	7	Mineralización en cristales anhedrales y en vetillas que intersectan a las piritas.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Rellena con calcita y jarosita, con un espesor de 2 mm.

Vetilla – Mineralización conjunto de calcopirita, pirita y cuarzo secundario, con un espesor estimado de 40 mm.

Relaciones cronológicas

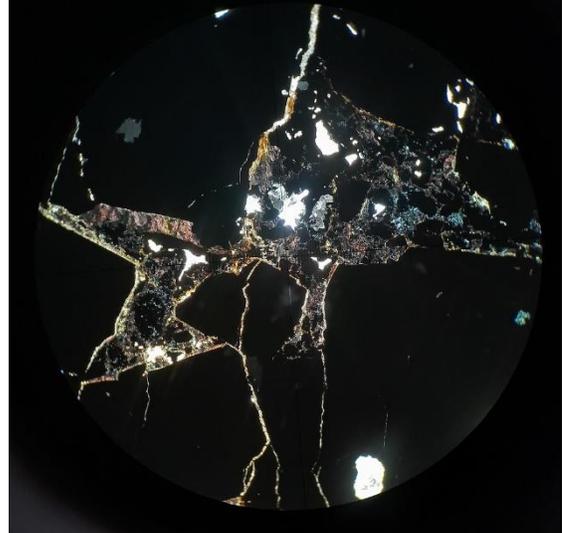
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Epidota (Zoisita)
- 4) Magnetita I
- 5) Pirita
- 6) Calcopirita
- 7) Sílice
- 8) Calcita
- 9) Jarosita

Microfotografías sección pulida

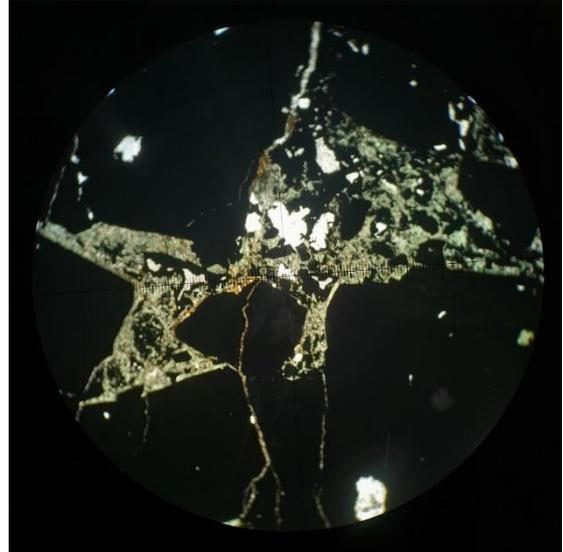
13IR12 M1 10x



Microfotografías sección transparente



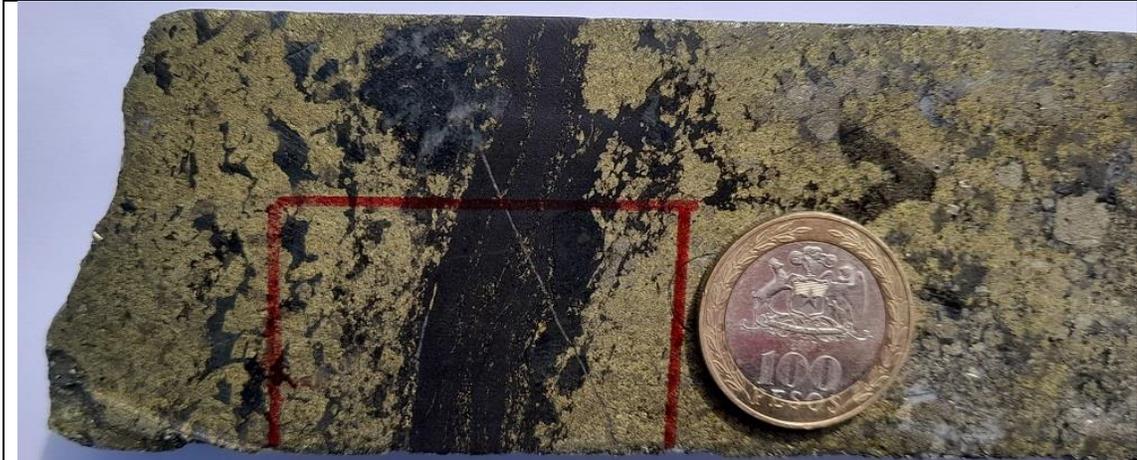
13IR12 M1 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja no reconocible debido a los eventos de mineralización y alteración de gran magnitud. Se reconoce una alteración de intensidad media compuesta por cloritas y epidotas, seguido por el desarrollo de cuarzos secundarios y posteriormente la roca es afectada por un evento mineralizador de magnetita I. Tiempo después surgiría un evento de mineralización masiva de calcopirita, y luego ocurriría otro evento mineralizador pero esta vez de piritas. Finalmente, se contempla una vetilla muy tardía compuesta por calcita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a los eventos de mineralización y alteración.
Alteración	Clorita I	5	Alteración diseminada que es interrumpida por las menas.
	Sílice	2	Cristales muy finos que se introducen posteriores a la clorita.
	Calcita	2	Vetilla tardía de 0.3 mm que intersecta a las menas.
	Epidota (Zoisita)	5	Alteración diseminada posterior a la clorita que es intersectada por las menas.
Mena/Ganga	Magnetita I	26	Cristales muy finos diseminados por la roca, interrumpidos por los eventos mineralizadores y por la vetilla de calcita.
	Calcopirita	40	Mineralización masiva que es posterior a la magnetita pero previo a las piritas.
	Pirita	20	Cristales subhedrales y euhedrales que se observan por encima de las piritas.

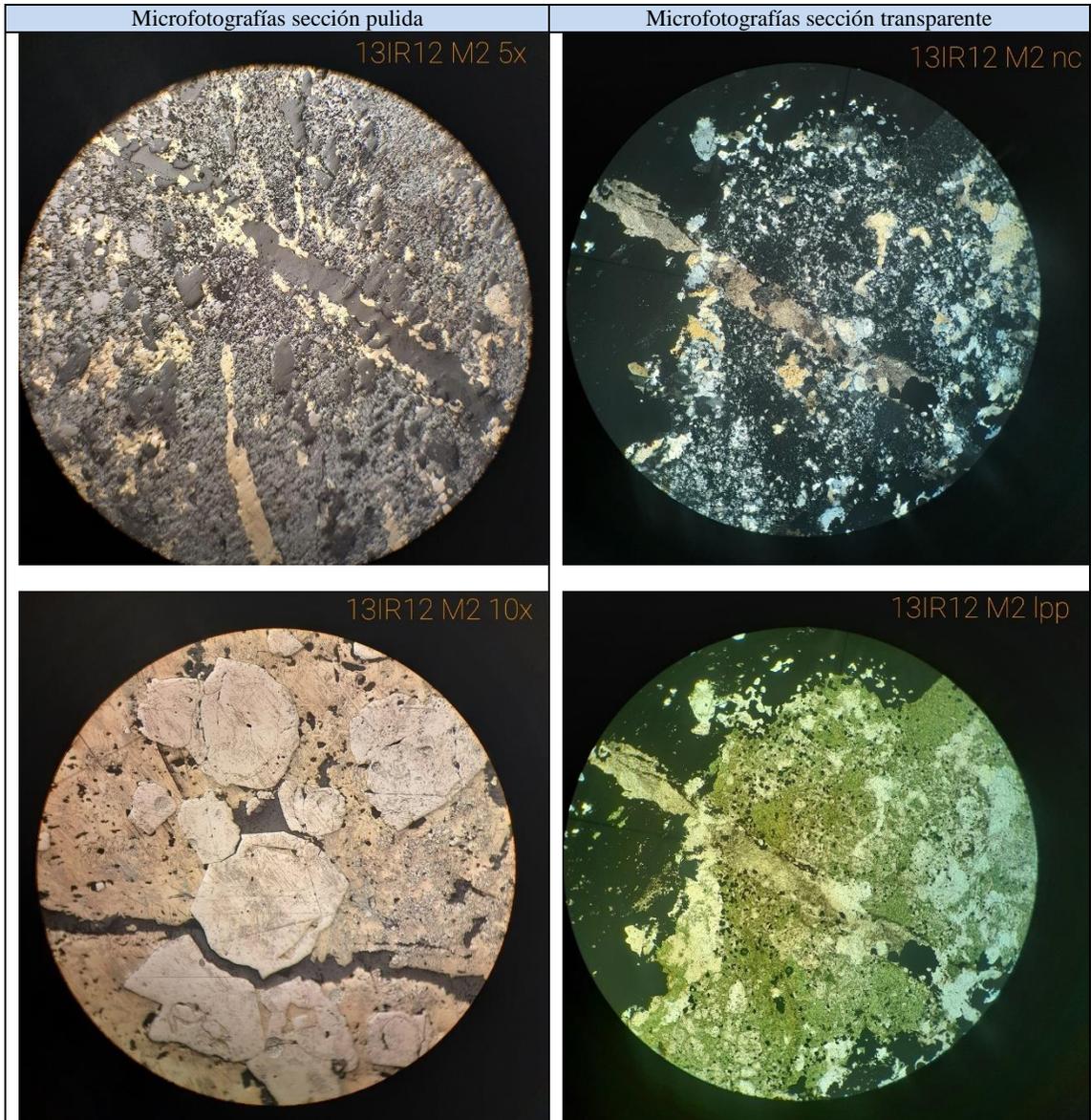
Vetillas y microestructuras

Bandeado – Matriz con magnetita I, con bandas muy delgadas de calcopirita.

Vetilla – Relleno con calcita, de un espesor de 0.3 mm.

Relaciones cronológicas

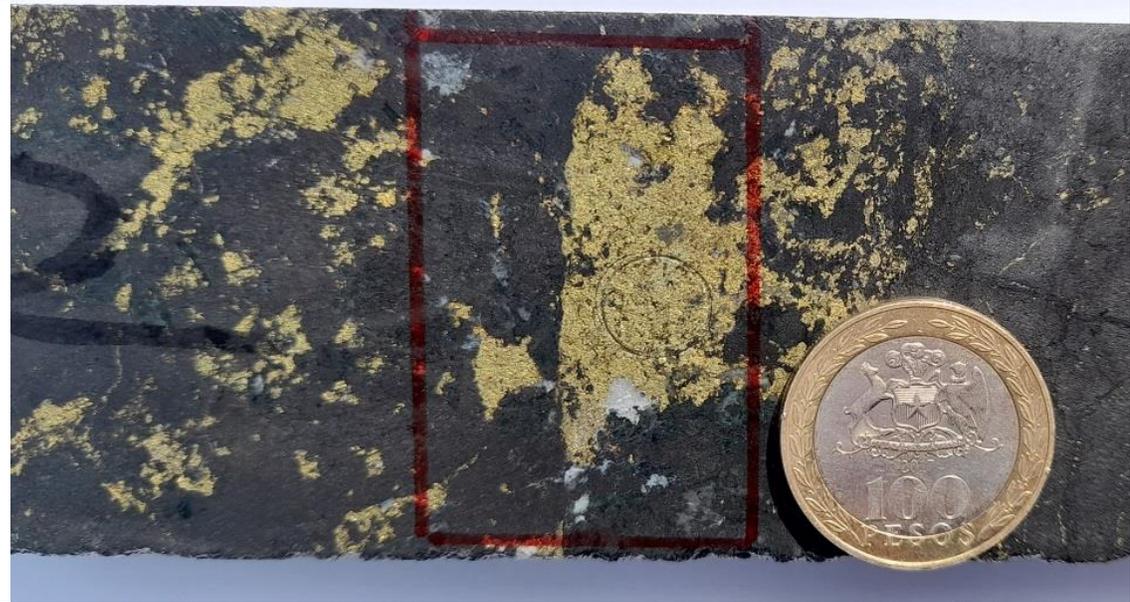
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Epidota
- 4) Sílice
- 5) Magnetita I
- 6) Calcopirita
- 7) Pirita
- 8) Calcita



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja alterada por cloritas, donde después se incluyen cristales de cuarzo secundario. Posteriormente es afectada por eventos mineralizadores de magnetita y luego de calcopirita con algunas inclusiones de pirita. Por último, toma lugar una intrusión leve de calcita.

Fotografía de corte (aspecto general)



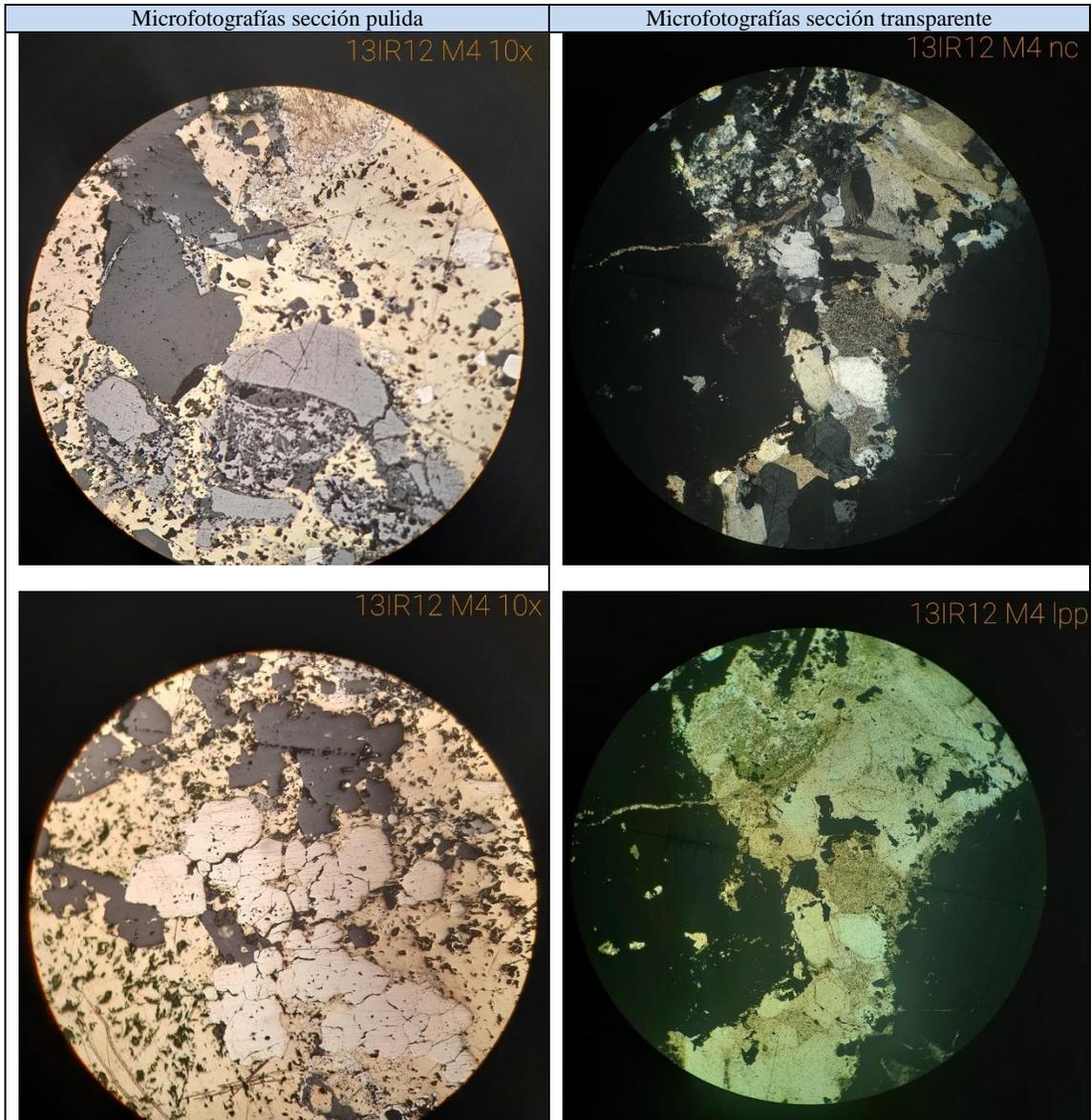
	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a los eventos de mineralización y alteración.
Alteración	Calcita	4	Cristales anhedrales de entre 0.5 a 3.5 mm
	Sílice	4	Cristales anhedrales y subhedrales de entre 0.4 a 1.2 mm
	Clorita I	30	Alteración disseminada e intersectada por los cuarzos y las menas.
Mena/Ganga	Calcopirita	20	Intersecta a la magnetita I pero es intersectado por las piritas, la magnetita II y la calcita.
	Pirita	10	Cristales euhedrales que están por encima de la calcopirita.
	Magnetita I	10	Cristales muy finos disseminados por la roca.
	Magnetita II	10	Mineralización con tamaño de grano levemente mayor que la magnetita I y que intersecta a la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

Fractura – Grietas muy pequeñas alrededor de la roca.

Relaciones cronológicas

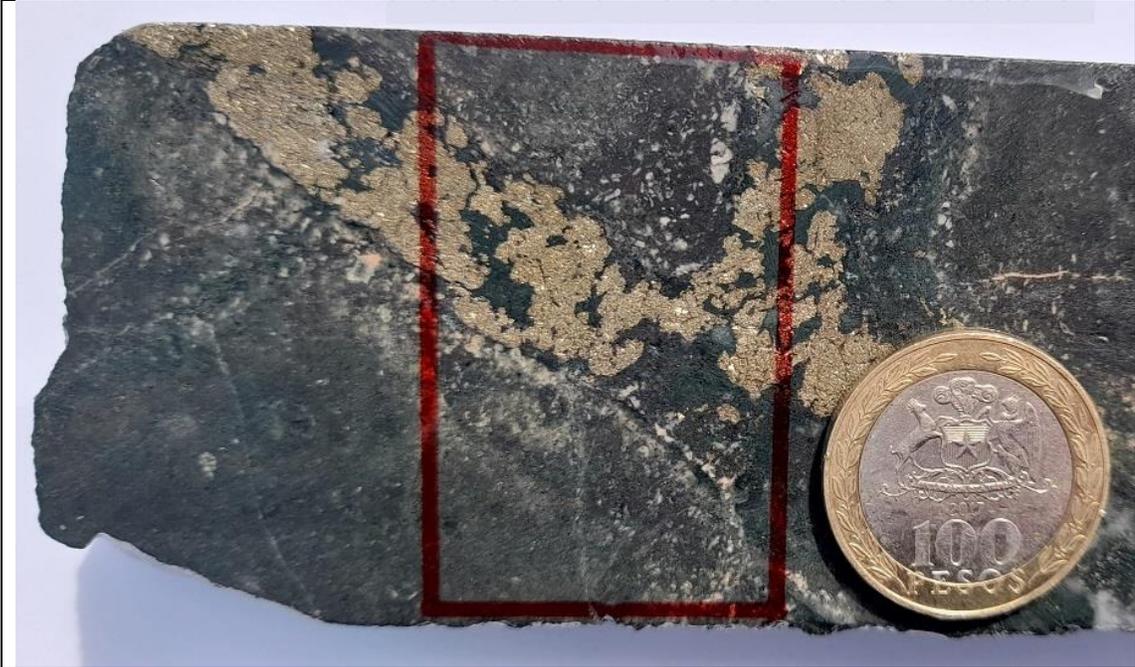
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Magnetita I
- 5) Calcopirita
- 6) Magnetita II
- 7) Pirita
- 8) Calcita



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja alterada por clorita y feldespato potásico. Dicha roca es interceptada por un evento mineralizador de magnetita, seguida por otro de pirita que se da a través de vetillas de clorita que están generando cambios por sus bordes, desarrollándose alteraciones de cuarzo secundario y feldespato potásico.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a los eventos de mineralización y alteración.
Alteración	Clorita II	35	Alteración diseminada, de color verde intenso, concentrada como una vetilla
	Sílice	10	Cristales muy finos distribuidos en forma de vetilla.
	Feldespato potásico	15	Alteración diseminada por la roca.
Mena/Ganga	Magnetita I	10	Cristales muy finos que aparecen diseminados por la roca alterada.
	Magnetita II	9	Cristales de un tamaño levemente mayor que la magnetita I, capaces de intersectar a la pirita.
	Pirita	20	Está por sobre la roca alterada y es posterior a la calcopirita.
	Calcopirita	1	Muy reducida mineralización que es anterior a la pirita.

Estructuras

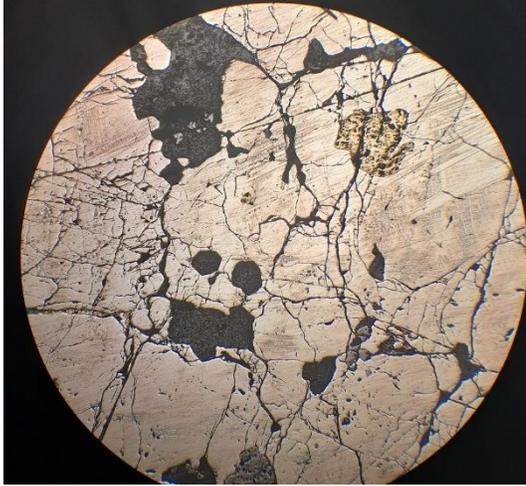
Vetilla – Su composición principal es la clorita y la pirita, generando una bifurcación, con un espesor de 20 mm.

Vetillas y microtexturas

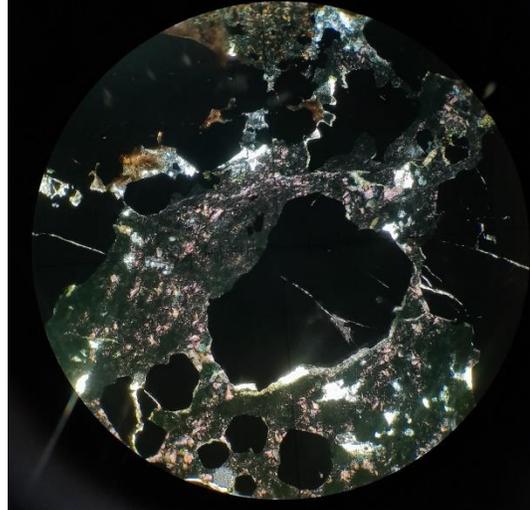
- 1) Roca de caja
- 2) Magnetita I
- 3) Sílice
- 4) Feldespato potásico
- 5) Magnetita II
- 6) Clorita II
- 7) Calcopirita
- 8) Pirita

Microfotografías sección pulida

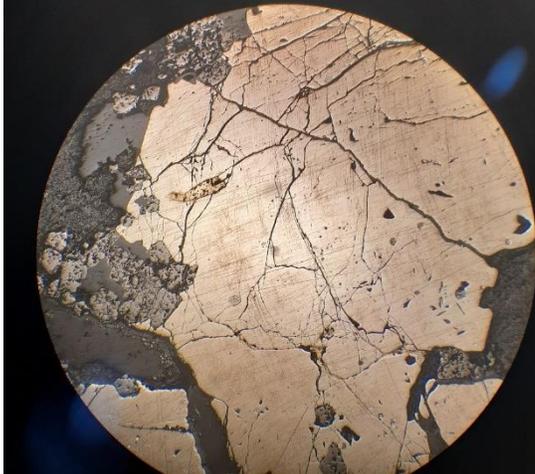
13IR12 M6 5x



Microfotografías sección transparente



13IR12 M6 5x



Sondaje	DDH14-IR-56	Muestra	M2
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca está con una alteración intensa de una combinación entre cuarzo secundario y feldespato potásico, en conjunto con otro evento de alteración a epidotas. Después surgiría una intromisión de piritas junto a las hematitas II, para ser ambas intersectadas por vetillas de calcita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	Plagioclasas	5	Cristales euhedrales de entre 0.4 a 0.8 mm
Alteración	Feldespato potásico	10	Alteración masiva que es interrumpida por las menas y por la calcita.
	Sílice	20	Alteración masiva que es interrumpida por las menas y por la calcita.
	Epidota	5	Cristales euhedrales de hasta 0.5 mm
	Calcita	25	Vetillas de hasta 12 mm de espesor, correspondiendo al evento más tardío en la muestra.
Mena/Ganga	Magnetita I	3	Diseminado en la roca alterada.
	Pirita	20	Cristales subhedrales y euhedrales que intersectan la hematita II
	Hematita II	12	Aparecen intersectando la roca afectada por las alteraciones de cuarzo secundario con feldespato potásico y epidotas.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Su composición principal es la calcita, con espesor de 12 mm.

Vetilla – Compuesta por hematita, toma lugar además la mineralización de pirita en su alrededor, con un espesor de 17 mm.

Relaciones cronológicas

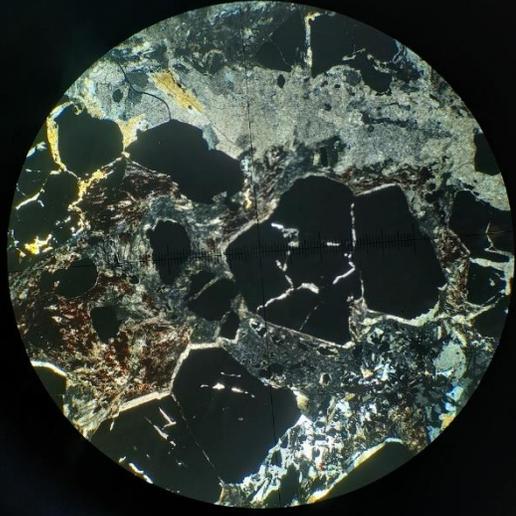
- 1) Plagioclasas (restos de la roca de caja)
- 2) Feldespato potásico
- 3) Sílice
- 4) Epidota
- 5) Magnetita I
- 6) Hematita II
- 7) Pirita
- 8) Calcita

Microfotografías sección pulida

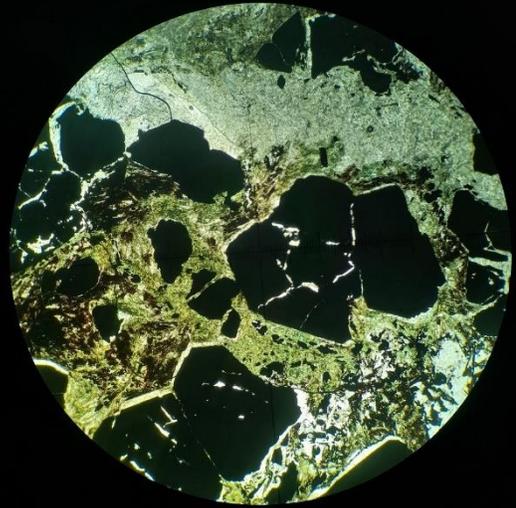
14IR56 M2 10x

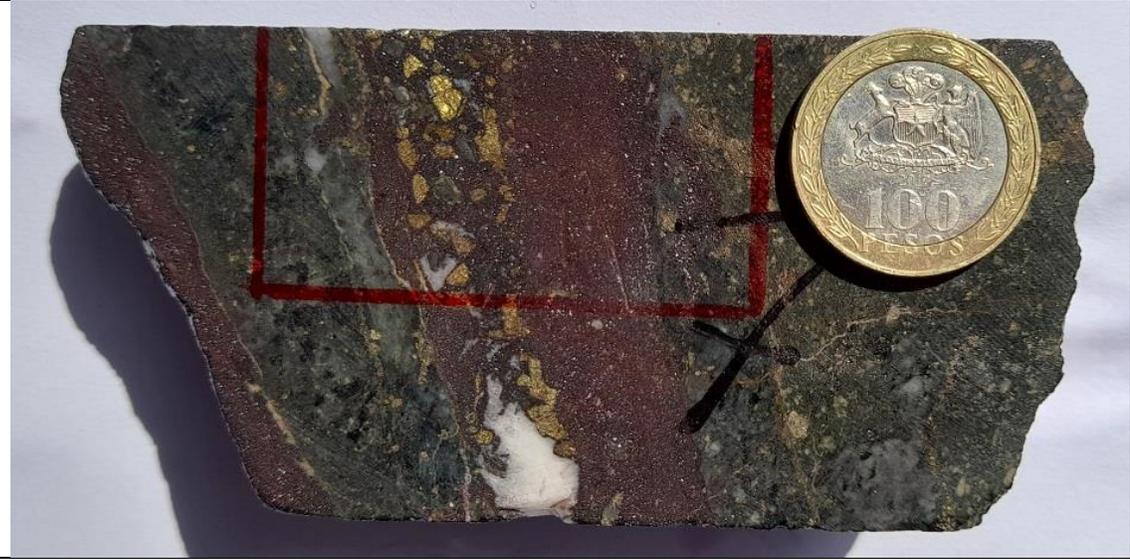


Microfotografías sección transparente

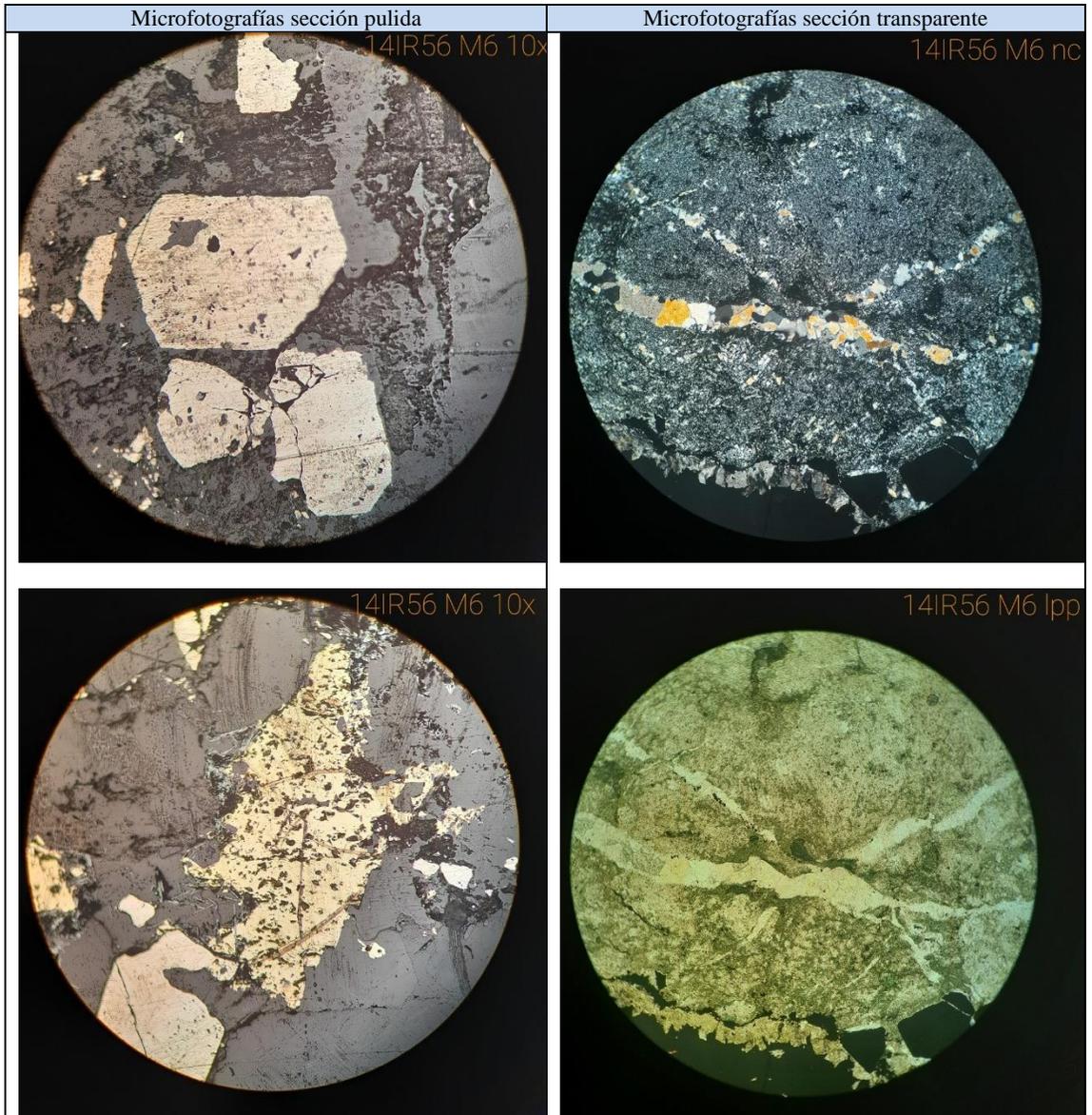


14IR56 M2 10x



Sondaje	DDH14-IR-56	Muestra	M6
Observaciones macroscópicas / microscópicas			
Roca con una alteración inicial de clorita, las que posteriormente son interceptadas por un evento mineralizador de calcopiritas, seguido de un evento de mineralización de hematita especular, y esta termina siendo interceptada por una vetilla tardía de calcita.			
Fotografía de corte (aspecto general)			
			

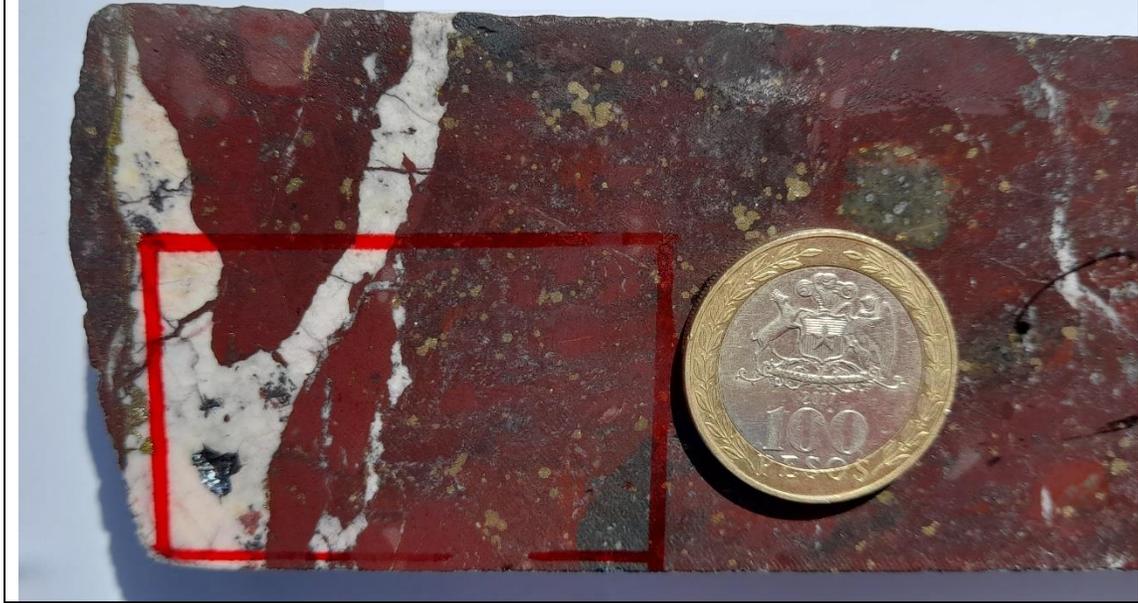
	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a las mineralizaciones y las alteraciones.
Alteración	Calcita	10	Cristales diseminados, que intercepta la mena.
	Sílice	5	Vetilla irregular de espesor variable, entre 0.1 a 2.0 mm
	Clorita I	35	Diseminado e interceptado por el cuarzo.
Mena/Ganga	Pirita	5	Intercepta a la roca de caja, la hematita, la hematita especular y a la calcopirita.
	Calcopirita	5	Intercepta a la hematita y a la especularita.
	Hematita Especular	20	Se desarrolla en conjunto con la hematita.
	Hematita II	20	Se desarrolla en conjunto con la hematita especular
Vetillas y microtexturas			
Vetilla – Relleno de hematita y hematita especular, de 36 mm de espesor.			
Vetilla – Mineralización de pirita, sinuosa, de 3 mm de espesor.			
Vetilla – Relleno de calcopirita y una cantidad reducida de calcita, de 3 mm de espesor.			
Relaciones cronológicas			
1) Roca de caja 2) Clorita I 3) Sílice 4) Hematita II 5) Hematita Especular 6) Calcopirita 7) Pirita 8) Calcita			



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca cuya litología no puede identificarse, pero que tiene un color rojo intenso, asumiéndose que es producto de la hematita en el sector. Siguen las alteraciones de cuarzo secundario y feldespato potásico, ambos de intensidad leve, y después ocurren los eventos mineralizadores de calcopirita y pirita en ese mismo orden. Para la etapa tardía aparece una vetilla de calcita, y finalmente surge la mineralización escasa de hematita especular.

Fotografía de corte (aspecto general)



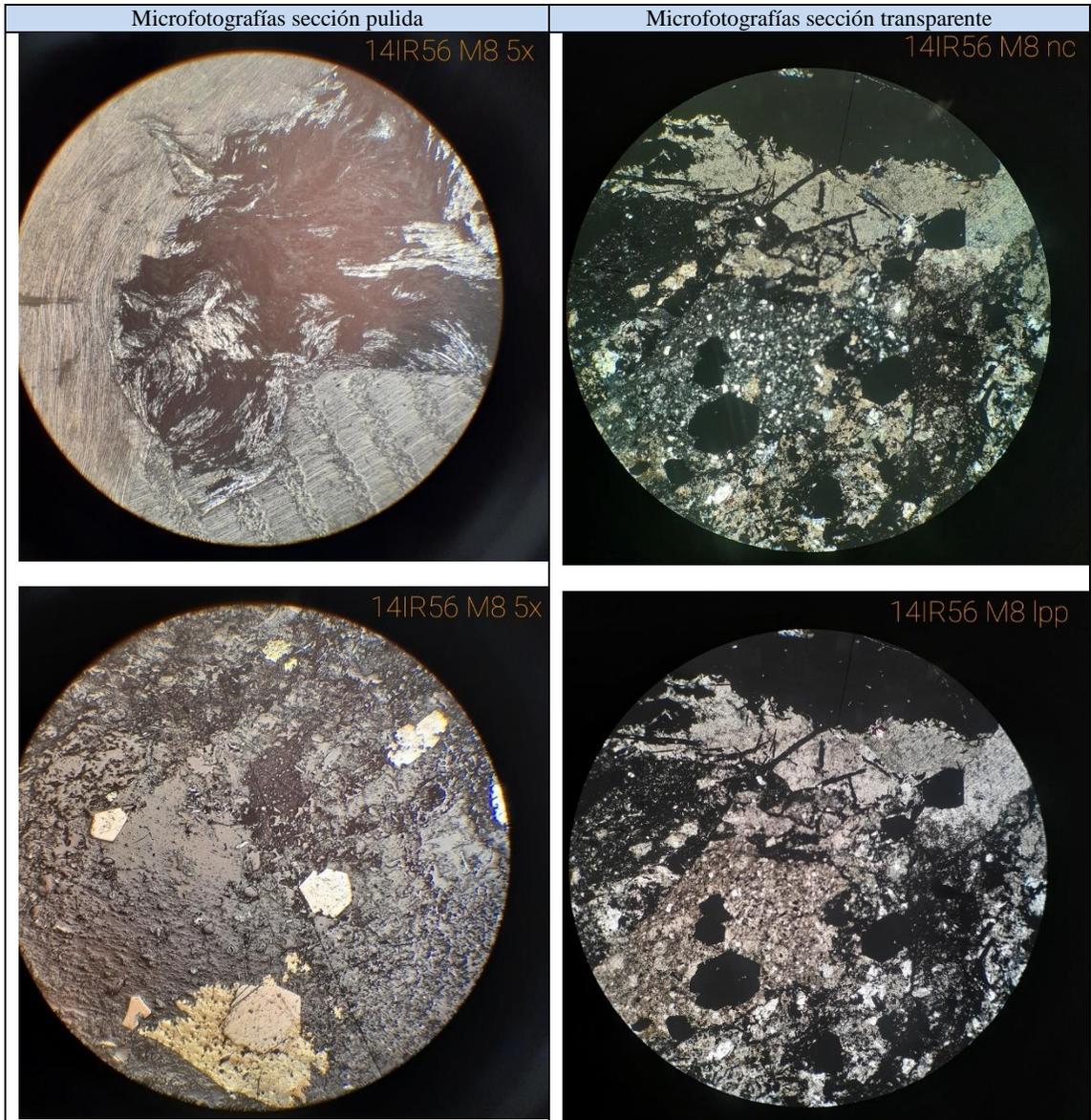
	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a las mineralizaciones y las alteraciones.
Alteración	Calcita	10	Vetillas cuyo espesor varía entre 1 a 7 mm, bifurcando en la mitad de la muestra.
	Sílice	5	Cúmulo de cristales anhedrales de grano muy fino.
	Feldespato potásico	5	Diseminado e interceptado por las menas y el cuarzo.
Mena/Ganga	Hematita especular	1	Un cristal de tamaño fino aparece interceptando la vetilla de calcita.
	Hematita I	77	La roca presenta un color rojo intenso, señalando que debe ser producto de la hematita.
	Calcopirita	1	Intercepta la pirita.
	Pirita	1	Intercepta la roca alterada.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Relleno de calcita con bifurcación, con un espesor de entre 1 a 7 mm.
 Brecha – Reconocimiento de una matriz de roca hematitizada, con clastos de roca sin hematita.

Relaciones cronológicas

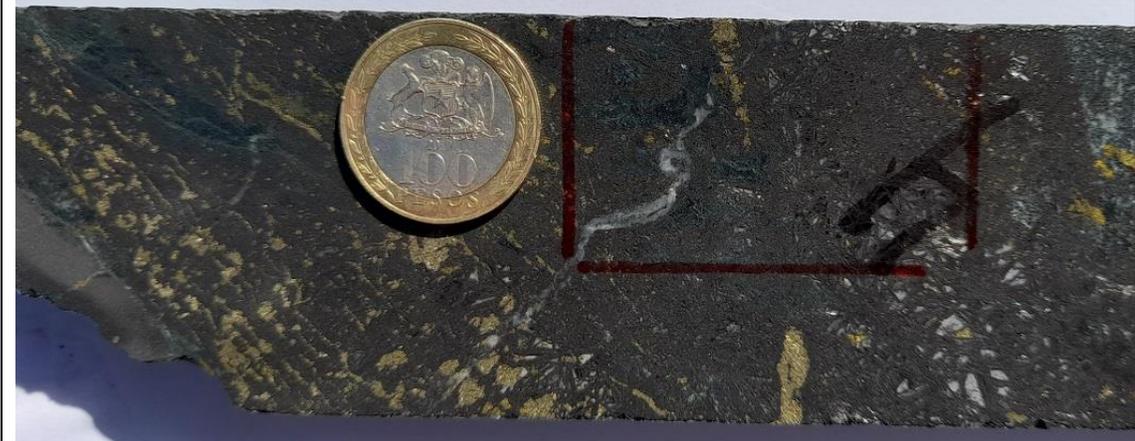
- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Sílice
- 4) Hematita I
- 5) Pirita
- 6) Calcopirita
- 7) Calcita
- 8) Hematita especular



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca cuya litología se desconoce por las alteraciones y las mineralizaciones. Se da a entender que la alteración inicial es de clorita, seguido de cuarzo secundario leve. Tiempo después ocurre el evento mineralizador de pirita, seguido por la calcopirita, y por último, sucede el evento de alteración de la hematita, para dar lugar a la mushketovita. El evento más tardío corresponde a la calcita, desarrollada en los intersticios donde se cruzan los cristales de mushketovita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a las mineralizaciones y las alteraciones.
Alteración	Calcita	5	Cristales euhedrales entre 0.1 a 2 mm, relleno de intersticios donde los cristales de mushketovita se cruzan.
	Clorita I	20	Alteración de intensidad débil y diseminada.
	Sílice	5	Vetilla sinuosa con un espesor de 2 mm.
Mena/Ganga	Mushketovita	60	Cristales aciculares que se distribuyen por toda la roca.
	Calcopirita	5	Mineralización escasa e interceptada por la mushketovita.
	Pirita	5	Mineralización escasa e interceptada por calcopirita.

Vetillas y microestructuras

Vetilla – Relleno de cuarzo secundario, sinuoso con un espesor de hasta 2 mm.

Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Pirita
- 5) Calcopirita
- 6) Calcita
- 7) Mushketovita

Microfotografías sección pulida

14IR56 M13 5x

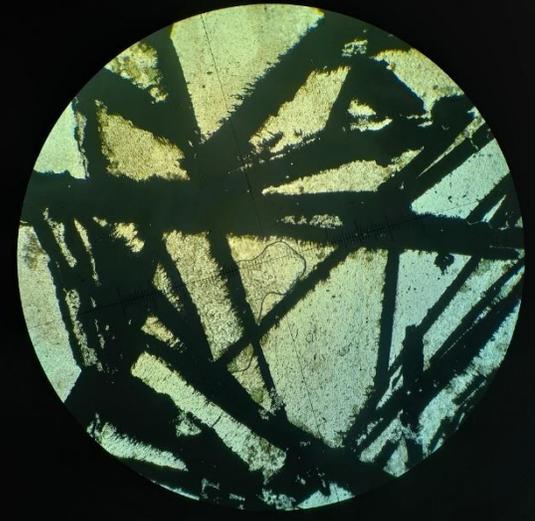


Microfotografías sección transparente

14IR56 M13 no



14IR56 M13 5x

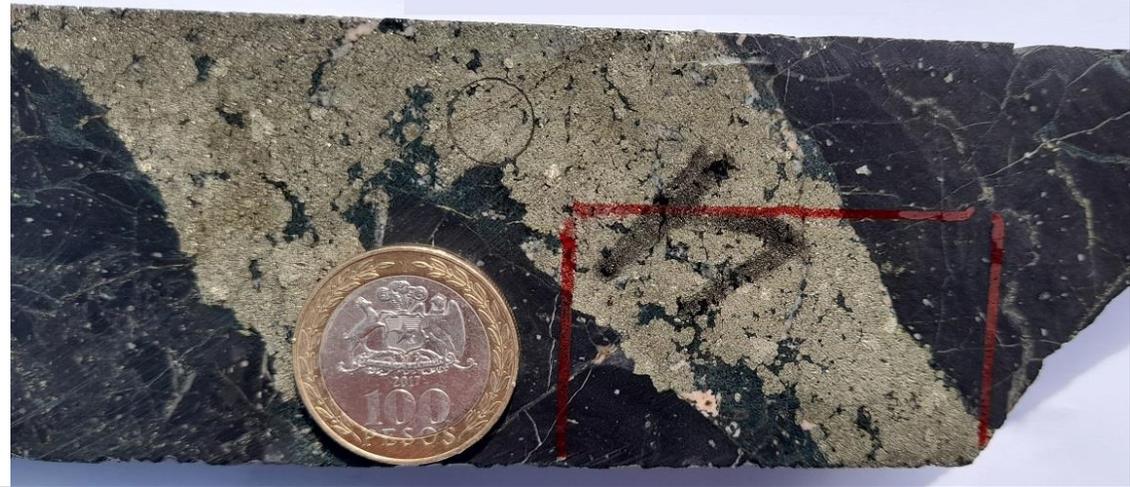


Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M1
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca cuya litología reconocible se reconoce por pequeños cristales de plagioclasa con una alteración intensa. A esta litología se introduce una alteración de intensidad media de clorita, más un evento mineralizador de magnetita I. Esta sección es interceptada posteriormente por otros minerales de alteración conformados por epidota, piroxeno y anfíboles. En la mineralización sucede un evento de pirita desarrollado casi masivamente por la muestra, para luego ser interceptada por cristales de magnetita II y después por calcopirita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	Plagioclasa	4	Cristales anhedrales de entre 0.6 a 1.2 mm con alteraciones.
Alteración	Epidota (Zoisita)	5	Cristales subhedrales entre 0.2 a 1.8 mm
	Piroxeno	5	Cristales subhedrales entre 0.1 a 0.8 mm
	Anfíboles indiferenciados	1	Cristales subhedrales de tamaño fino
	Clorita I	20	Alteración diseminada e interceptada por los otros minerales de alteración y los de mena. Se trataría de la variante rica en magnesio.
Mena/Ganga	Magnetita I	9	Cristales muy finos de granos finos que están diseminados por toda la roca.
	Magnetita II	9	Cristales ligeramente más grandes que la magnetita I e intersectan a la pirita
	Pirita	40	Mineralización masiva que intersecta a la roca alterada.
	Calcopirita	7	Alteración diseminada que intercepta a la mena de pirita.

Estructuras

Veta - Mineralización de pirita y calcopirita, con orientación, con un espesor máximo de 63 mm.

Relaciones cronológicas

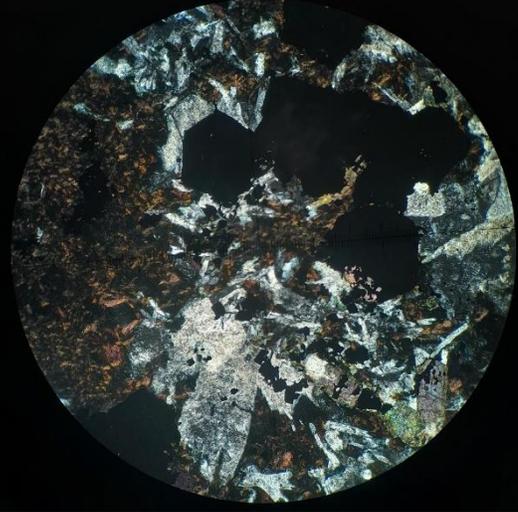
- 1) Plagioclasa (restos de roca de caja)
- 2) Clorita I
- 3) Magnetita I
- 4) Epidota (Zoisita)
- 5) Anfíboles indiferenciados
- 6) Piroxeno
- 7) Pirita
- 8) Magnetita II
- 9) Calcopirita

Microfotografías sección pulida

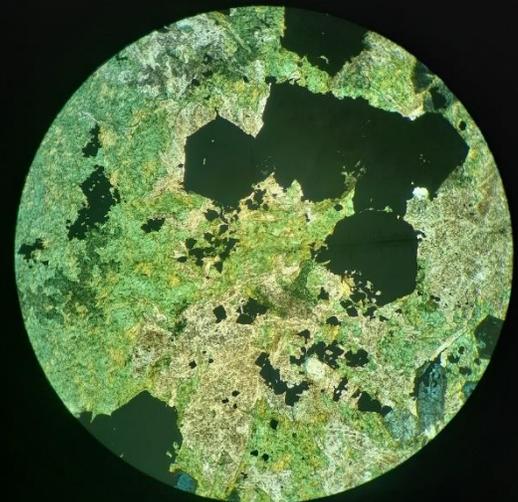
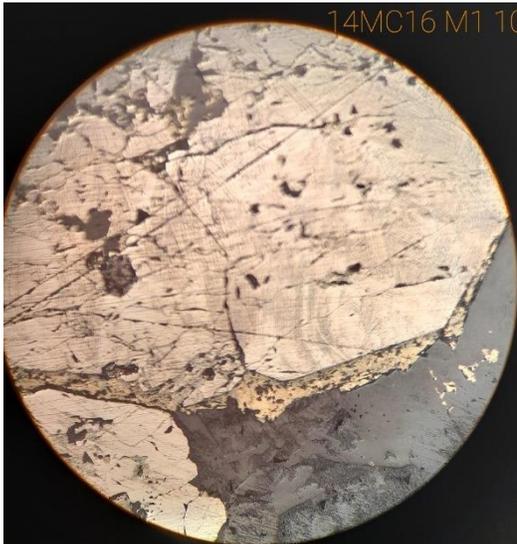
14MC16 M1 10x



Microfotografías sección transparente



14MC16 M1 10x

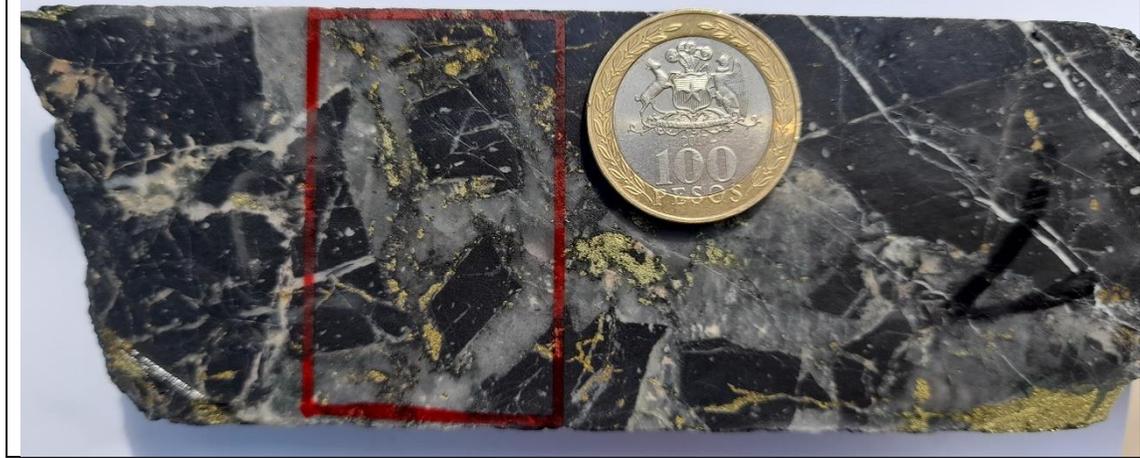


Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M2
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja donde se reconocen cristales de plagioclasas como parte de su composición original, además de una alteración débil de clorita y un evento mineralizador de magnetita I, sin embargo esta es interceptada por una veta de cuarzo secundario que termina dándole el aspecto de una brecha hidrotermal. Posterior a este suceso ocurre un evento mineralizador de magnetita II, la cual es interceptada por otro evento de mineralización de calcopirita. Para la etapa más tardía dentro de la roca, ocurre una alteración de calcita en vetillas que interceptan tanto a la roca como a las alteraciones y las mineralizaciones.

Fotografía de corte (aspecto general)



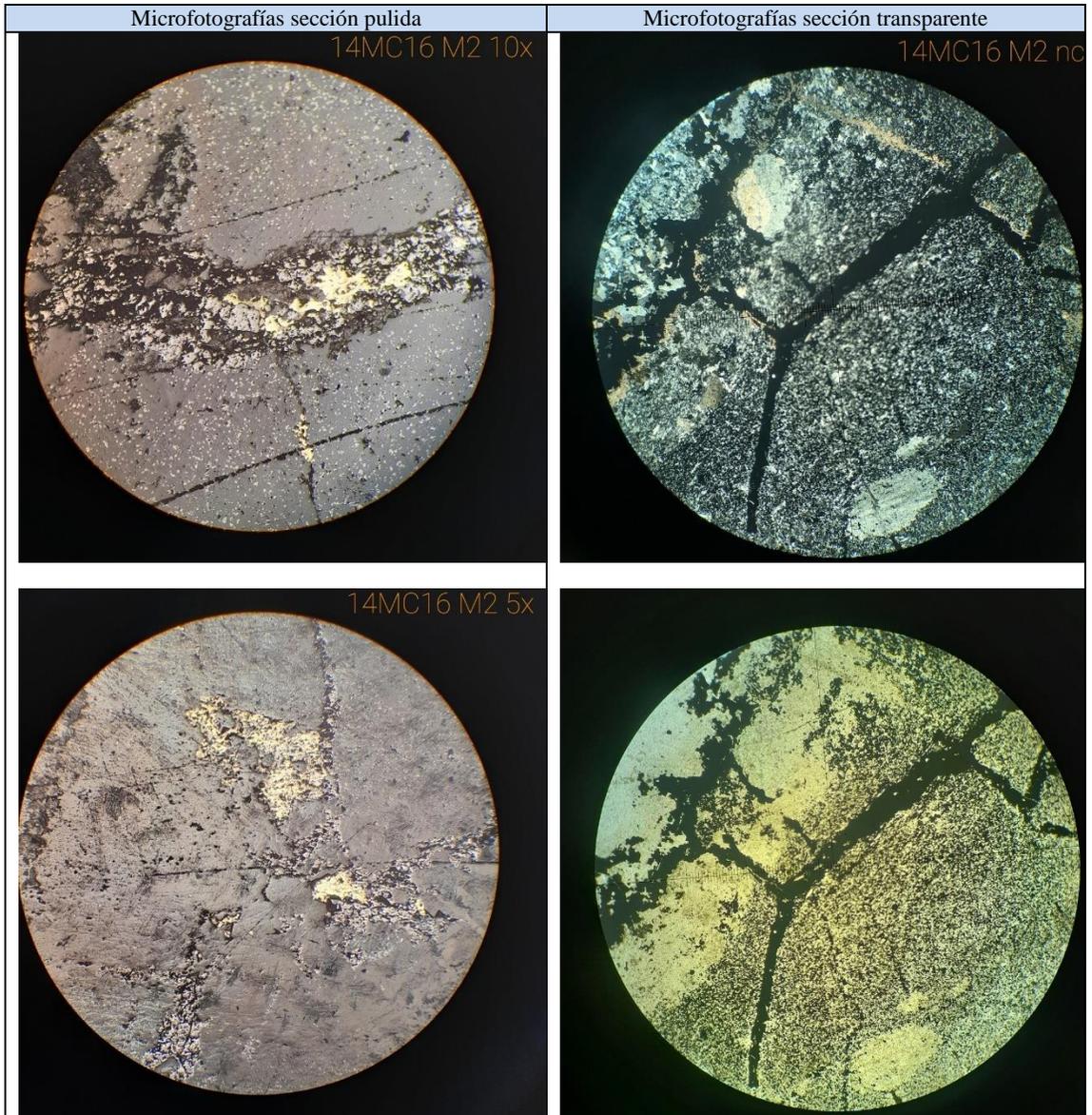
	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	Plagioclasas	1	Cristales de hasta 0.3 mm que pasan por procesos de alteración
Alteración	Clorita I	27	Alteración diseminada de intensidad débil. Corresponde a la variante rica en magnesio.
	Sílice	50	Evento de alteración que genera fracturas en la roca de caja, provocando un aspecto de brecha hidrotermal.
	Calcita	2	Vetillas de 0.1 mm donde logran interceptar a la roca y las alteraciones.
Mena/Ganga	Magnetita I	10	Cristales muy finos diseminados por la roca.
	Magnetita II	5	Cristales de tamaño fino y en vetillas, interceptados por la calcopirita.
	Calcopirita	5	Diseminado por la muestra, interceptando la roca de caja y el cuarzo secundario.

Vetillas y microtexturas

Brecha hidrotermal – Consecuencia del evento de cuarzo secundario que afecta a la roca.
 Vetillas – Relleno de calcita, con un espesor de 0.1 mm.

Relaciones cronológicas

- 1) Plagioclasas (restos de roca de caja)
- 2) Clorita I
- 3) Magnetita I
- 4) Sílice
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Calcita

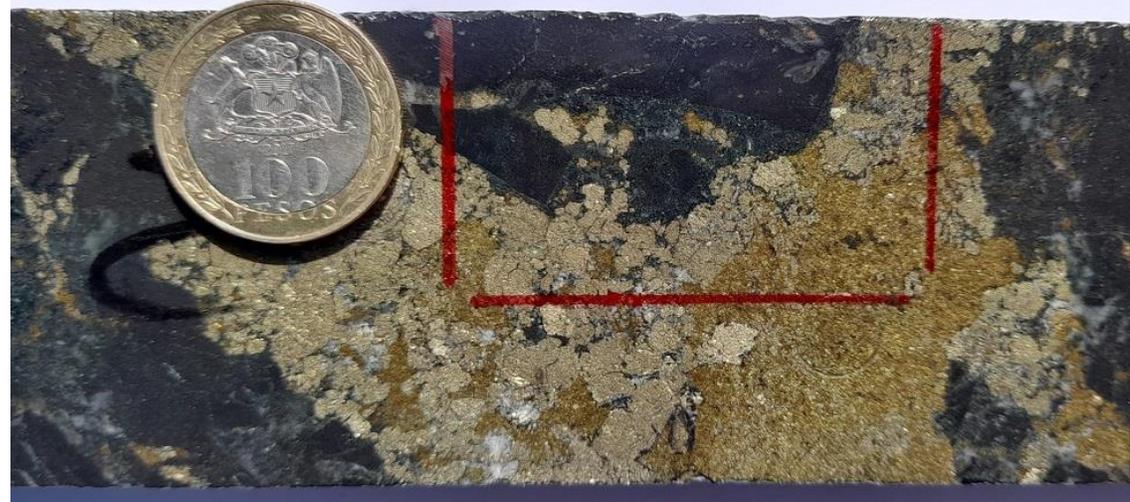


Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M7
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja que recibe una alteración débil de clorita, siendo después afectada por una alteración posterior de cuarzo secundario tanto como cristales anhedrales como en vetillas. Le sigue un evento de mineralización de magnetita I que se disemina en la roca alterada, para luego ocurrir los eventos mineralizadores de calcopirita y magnetita II, que posteriormente son afectadas por cristales subhedrales de pirita. Para finalizar, sucede una intromisión tardía de calcita que ocupa intersticios que dejaron los eventos mineralizadores previos.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	6	Cristales anhedrales de 0.2 a 1.2 mm que son interceptados por la mena. También puede manifestarse en vetillas de hasta 0.1 mm de espesor.
	Calcita	3	Crecimiento en intersticios de la zona de menas.
	Clorita I	6	Alteración diseminada e interceptada por el cuarzo y las menas.
Mena/Ganga	Magnetita I	5	Cristales muy finos diseminados en la roca de caja.
	Pirita	40	Cristales subhedrales y masivos que interceptan a la calcopirita.
	Calcopirita	30	Mineralización masiva que es interceptada por la pirita.
	Magnetita II	10	Cristales finos que interceptan a la pirita.

Vetillas y microtexturas

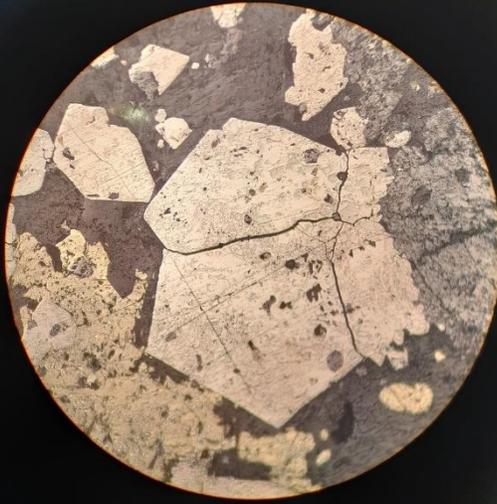
No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

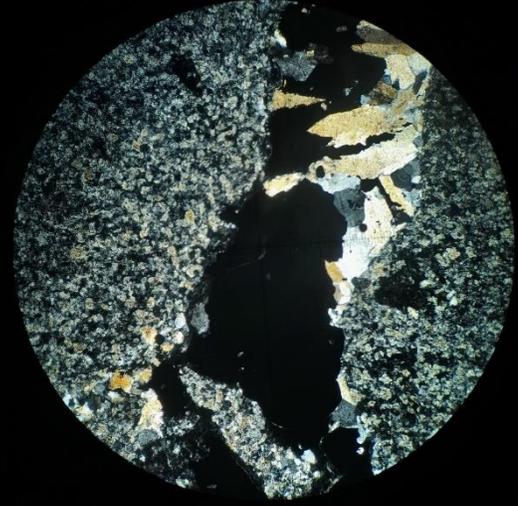
- 1) Roca de caja
- 2) Sílice
- 3) Clorita I
- 4) Magnetita I
- 5) Calcopirita
- 6) Magnetita II
- 7) Pirita
- 8) Calcita

Microfotografías sección pulida

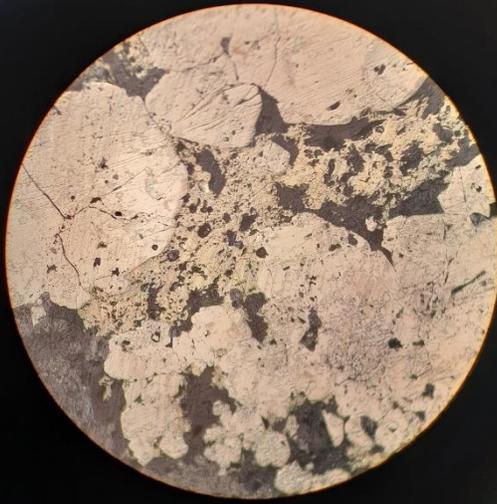
14MC16 M7 10x



Microfotografías sección transparente



14MC16 M7 10x



Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M11
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja es afectada por alteraciones de feldespato potásico y de clorita, siendo esta última la que abarca más de la mitad de la muestra. Después se generan intrusiones de epidota por la roca alterada y por último se dan los eventos mineralizadores de magnetita II y de calcopirita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Feldespato potásico	78	Alteración masiva que afecta a la roca de caja, interceptada por una alteración posterior de clorita.
	Epidota	10	Alteración en cúmulos posterior al feldespato potásico.
	Clorita I	8	Alteración limitada que logra interceptar al feldespato potásico y a la epidota. Se da tanto la variante rica en hierro como la rica en magnesio.
Mena/Ganga	Calcopirita	2	Mineralización disseminada y en algunas vetillas.
	Magnetita II	2	Mineralización escasa.

Vetillas y microtexturas

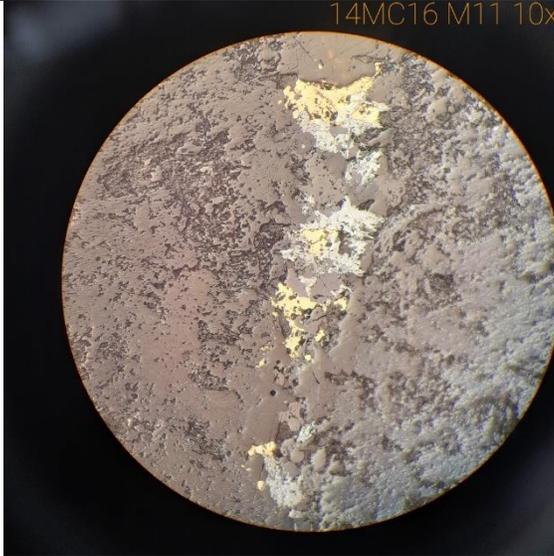
Vetilla – Relleno de calcopirita, asociado con la fractura de la roca.
Fractura – Su origen estaría relacionado con la llegada de fluidos hidrotermales.

Relaciones cronológicas

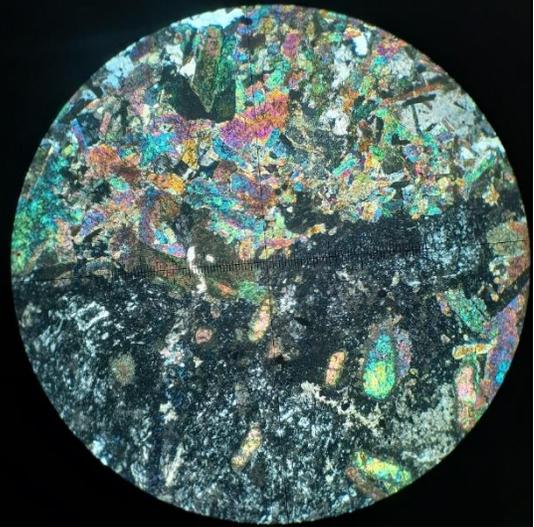
- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Epidota
- 4) Clorita I
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita

Microfotografías sección pulida

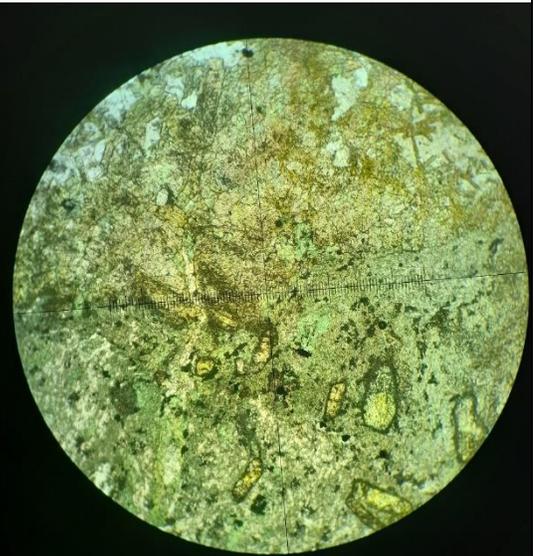
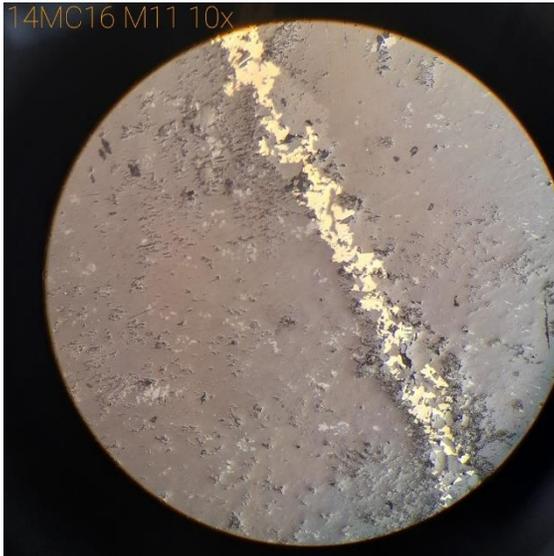
14MC16 M11 10x



Microfotografías sección transparente



14MC16 M11 10x

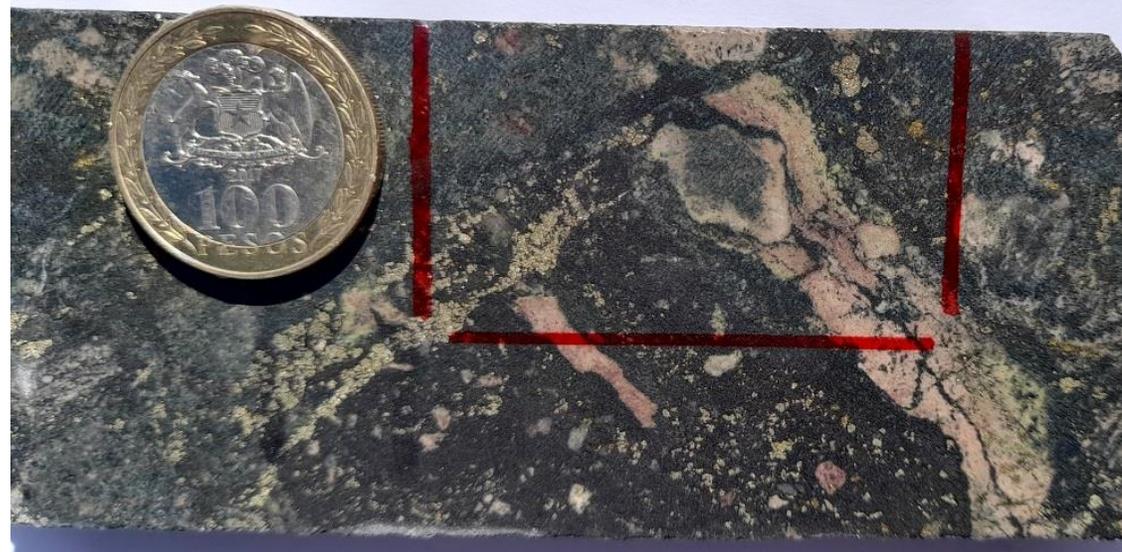


Sondaje	DDH14-MC-16	Muestra	M25
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

En esta muestra la roca de caja es afectada por una alteración de clorita, seguido de una intromisión de feldespato potásico desarrollada en forma de una banda con sinuosidad. Posteriormente se desarrolla una alteración de epidota que son interceptadas por un posterior evento de alteración de cuarzo secundario. Después aparece un evento de mineralización conformado por magnetita II, la cual es interceptada por un evento mineralizador de piritas tanto en diseminado como en semi-vetillas con orientación, finalizando con cristales escasos de calcopirita que interceptan a las piritas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	5	Cristales anhedrales de hasta 0.3 mm desarrollados en los intersticios que no son ocupados por la mena.
	Epidota	25	Cristales aciculares de hasta 0.4 mm que son interceptados por cuarzo secundario.
	Feldespato potásico	20	Alteración desarrollada en forma de banda sinuosa.
Mena/Ganga	Hematita II	2	Mineralización diseminada y escasa alrededor de la roca.
	Magnetita II	18	Mineralización dispersa por la muestra, interceptada por la pirita.
	Pirita	20	Mineralización dispersa y una zona con orientación.
	Calcopirita	10	Mineralización escasa que logra interceptar a algunos cristales de pirita.

Vetillas y microtexturas

Bandeado – Generado por la alteración de feldespato potásico.

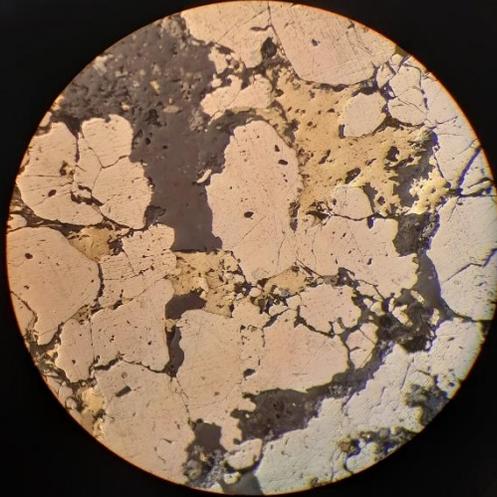
Vetilla – Relleno de pirita, de 10 mm de espesor.

Relaciones cronológicas

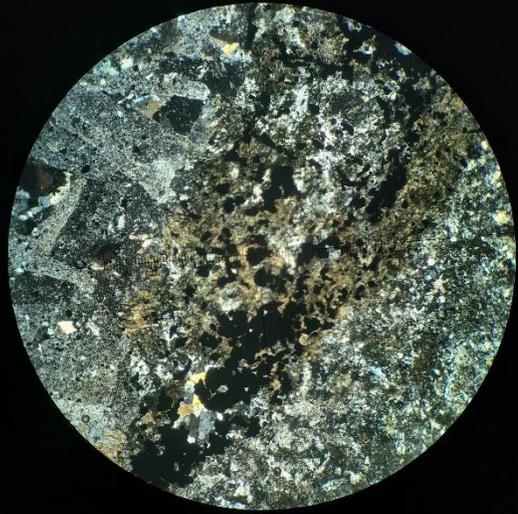
- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Epidota
- 4) Sílice
- 5) Magnetita II
- 6) Pirita
- 7) Calcopirita
- 8) Hematita II

Microfotografías sección pulida

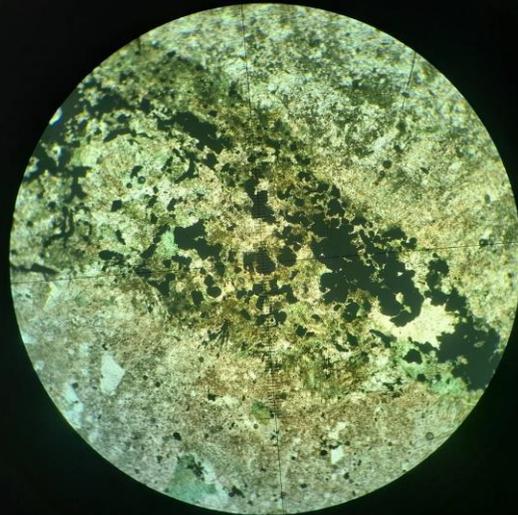
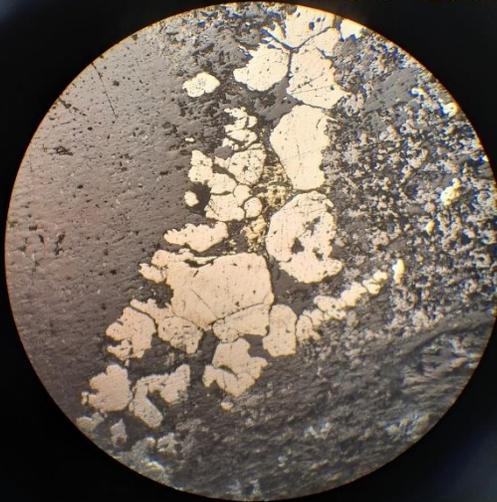
14MC16 M25 10x



Microfotografías sección transparente



14MC16 M25 5x



Sondaje	DDH14-MC-18	Muestra	M4
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Se tiene a la roca de caja con una alteración inicial de clorita, para después ser afectada por cristales de cuarzo secundario. Posteriormente surgen los eventos mineralizadores diseminados, empezando por la magnetita II, luego surge la pirita y por último la calcopirita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible debido a las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	15	Cristales anhedrales que están diseminados por la roca, apareciendo en intersticios no ocupados por las menas.
	Sílice	10	Cristales anhedrales de hasta 0.2 mm y una vetilla que es interceptada por la calcita y minerales de mena.
	Clorita I	25	Alteración de intensidad débil diseminada.
Mena/Ganga	Magnetita II	20	Mineralización diseminada por la roca alterada.
	Calcopirita	15	Mineralización diseminada que intercepta a la magnetita II y a la pirita.
	Pirita	15	Mineralización diseminada.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Relleno de calcita, de 2 mm de espesor.

Relaciones cronológicas

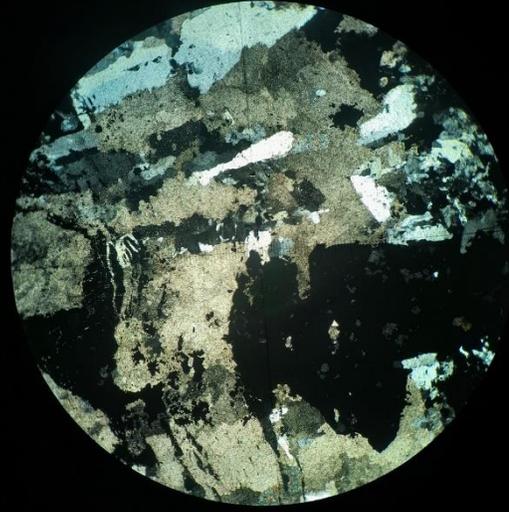
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Calcita

Microfotografías sección pulida

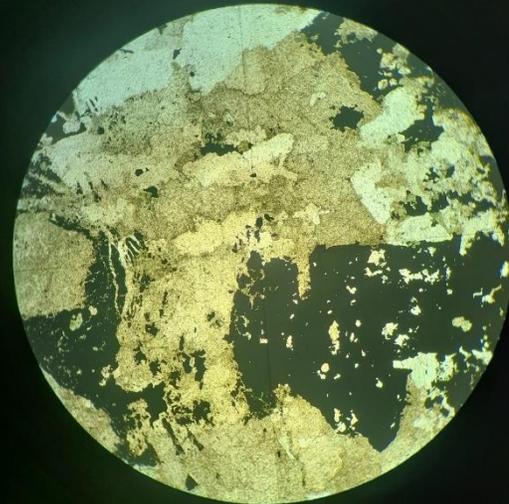
14MC18 M4 10x



Microfotografías sección transparente



14MC18 M4 10x

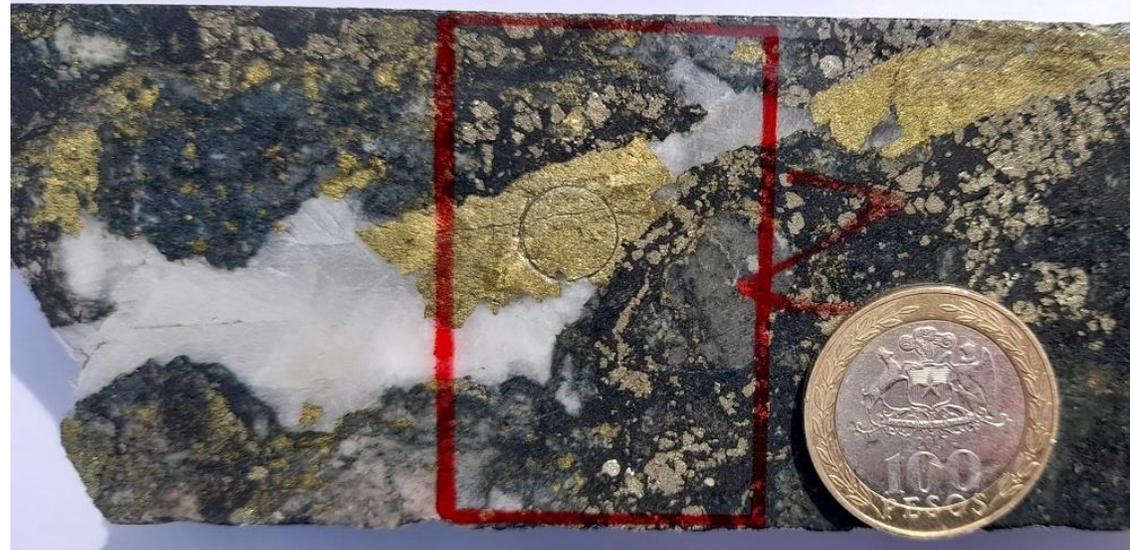


Sondaje	DDH14-MC-18	Muestra	M5
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja con una alteración moderada de clorita, que luego es afectada por cristales de cuarzo secundario. Después ocurre un evento mineralizador de magnetita II, la cual es interceptada por un evento de mineralización de pirita. Como conclusión, se da una posible asociación donde la calcita y la calcopirita toman lugar de forma simultánea.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No es reconocible debido a las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	15	Mineralización masiva, en asociación con la calcopirita.
	Clorita I	5	Alteración de intensidad débil y diseminada por la roca.
	Sílice	20	Alteración en cúmulos, que interceptan a la roca alterada con clorita.
Mena/Ganga	Calcopirita	30	Mineralización con posible asociación a la calcita, interceptando la pirita y la magnetita II.
	Pirita	15	Cristales subhedrales que interceptan a la magnetita II.
	Magnetita II	15	Cristales diseminados que afectan a la roca alterada.

Vetillas y microtexturas

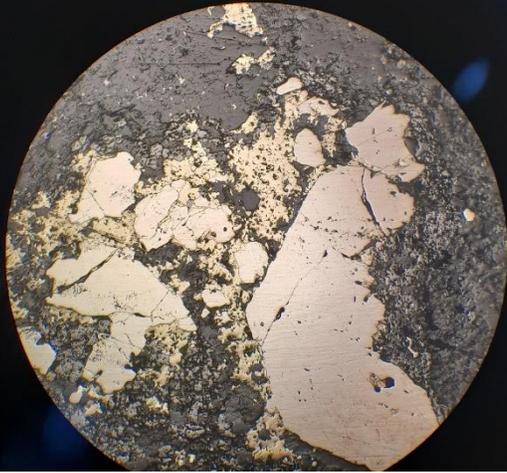
Vetilla – Posible asociación entre calcita y calcopirita, de un espesor entre 4 y 20 mm.

Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Magnetita II
- 5) Pirita
- 6) Calcopirita + Calcita

Microfotografías sección pulida

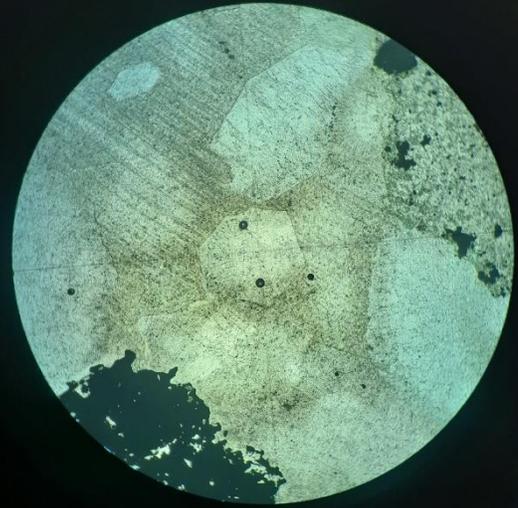
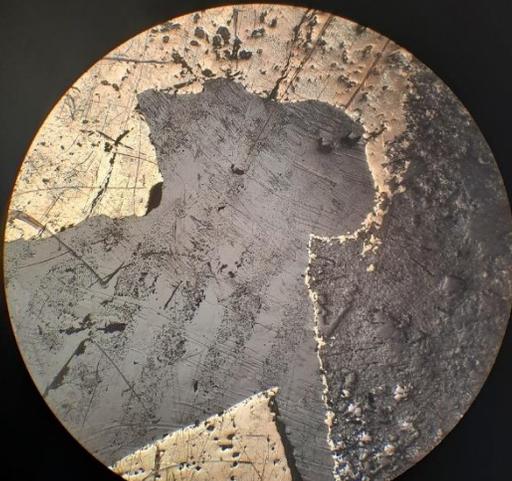
14MC18 M5 5x



Microfotografías sección transparente



14MC18 M5 5x



Sondaje	DDH14-MC-18	Muestra	M15
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja no tiene una litología definida, debido a las alteraciones que la han afectado, empezando por una combinación de epidota (pistacita y zoisita) con cuarzo secundario, seguido por un evento mineralizador de calcopirita que se introduce en la roca, para luego ser interceptada por un evento de mineralización de pirita. Posteriormente en los bordes de las menas, ocurre una intromisión de cristales de piroxeno, seguido de una muy escasa presencia de biotita, concluyendo con una alteración de calcita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Epidota	40	Pistacitas y zoisitas que se encuentran diseminadas junto con el cuarzo secundario
	Biotitas	1	Cristales subhedrales que interceptan a las menas.
	Piroxeno	10	Aparecen en forma similar a una vetilla cercana a las menas y el cuarzo.
	Sílice	35	Alteración desarrollada como silicificación, diseminado junto con las epidotas.
	Calcita	4	Cristales anhedral que llegan a interceptar a las menas.
Mena/Ganga	Calcopirita	7	Formación anhedral interceptada por la pirita.
	Pirita	3	Mineralización anhedral que intercepta a la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

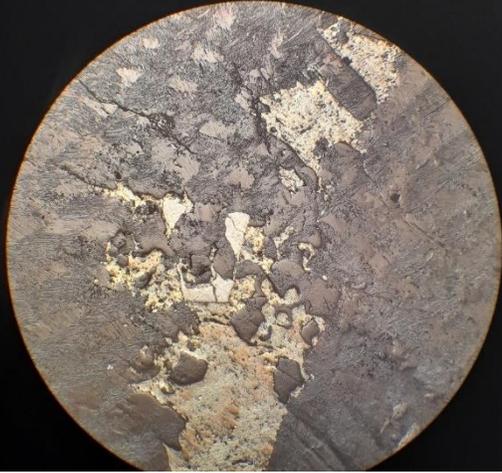
Vetilla – Generada por la alteración de epidota, con un espesor de entre 10 y 36 mm.

Relaciones cronológicas

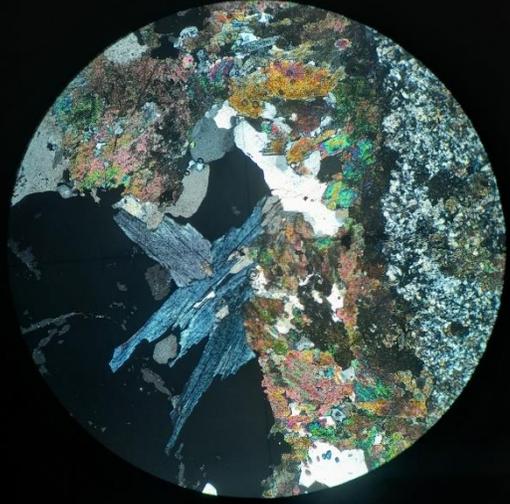
- 1) Roca de caja
- 2) Sílice + Epidotas
- 3) Calcopirita
- 4) Pirita
- 5) Piroxeno
- 6) Biotita
- 7) Calcita

Microfotografías sección pulida

14MC18 M15 5x



Microfotografías sección transparente



14MC18 M15 5x

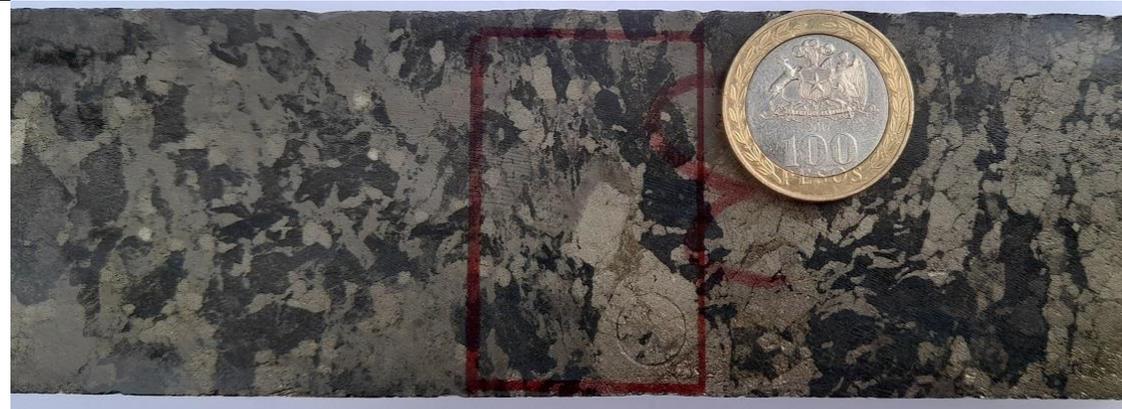


Sondaje	DDH14-MC-18	Muestra	M17
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja está mineralizada en casi su totalidad, aunque se reconoce que el primer evento se trata de una alteración correspondiente a epidota, seguido por la intrusión de cuarzo secundario. Posteriormente ocurre un evento de mineralización de pirita masiva, seguido por la magnetita II que intercepta la mena anterior, y por último se manifiesta una mineralización de calcopirita que intercepta todo lo que estaba con anterioridad.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Epidota	20	Cristales aciculares diseminados por la roca.
	Sílice	5	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 0.2 mm, con intrusiones en los intersticios donde no hay menas.
Mena/Ganga	Magnetita II	5	Mineralización diseminada por la roca alterada.
	Pirita	40	Mineralización masiva que es interceptado por la magnetita II.
	Calcopirita	30	Mineralización masiva que intercepta a la pirita, pero afectada por los cristales aciculares.

Vetillas y microtexturas

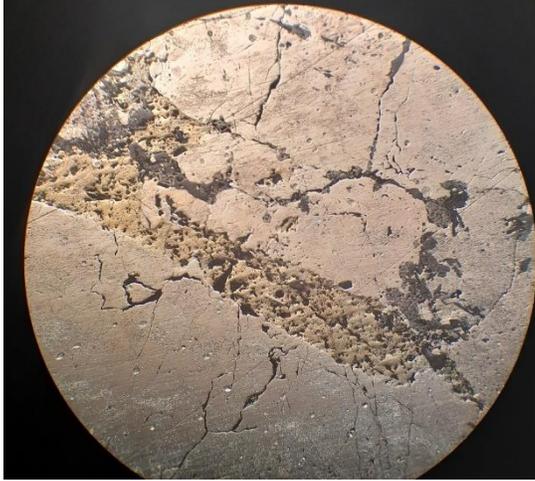
No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

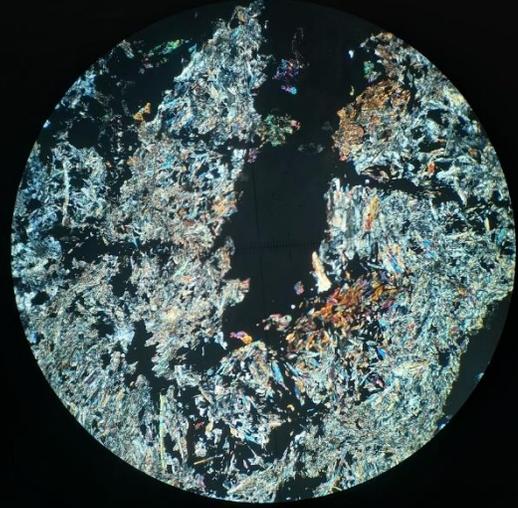
- 1) Roca de caja
- 2) Epidota
- 3) Sílice
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita

Microfotografías sección pulida

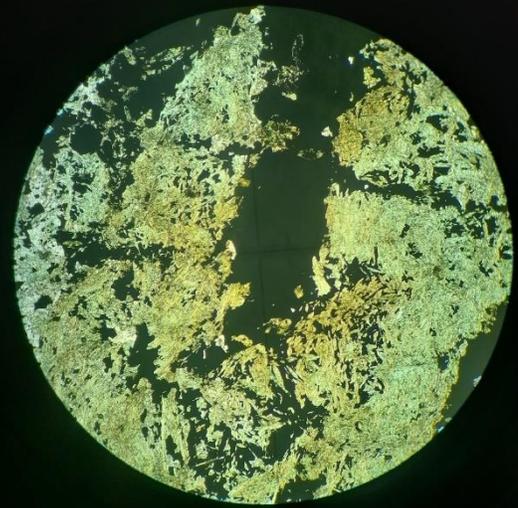
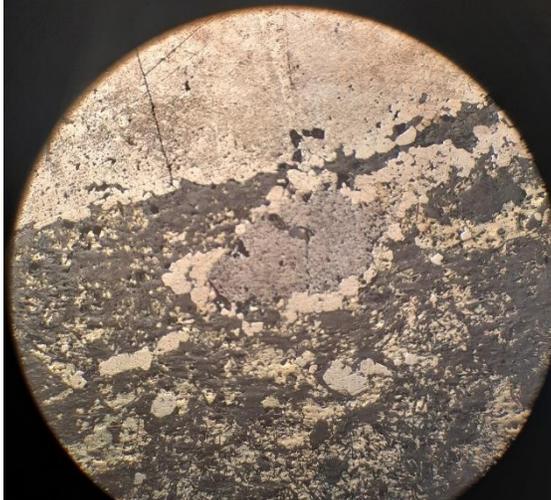
14MC18 M17 5x



Microfotografías sección transparente



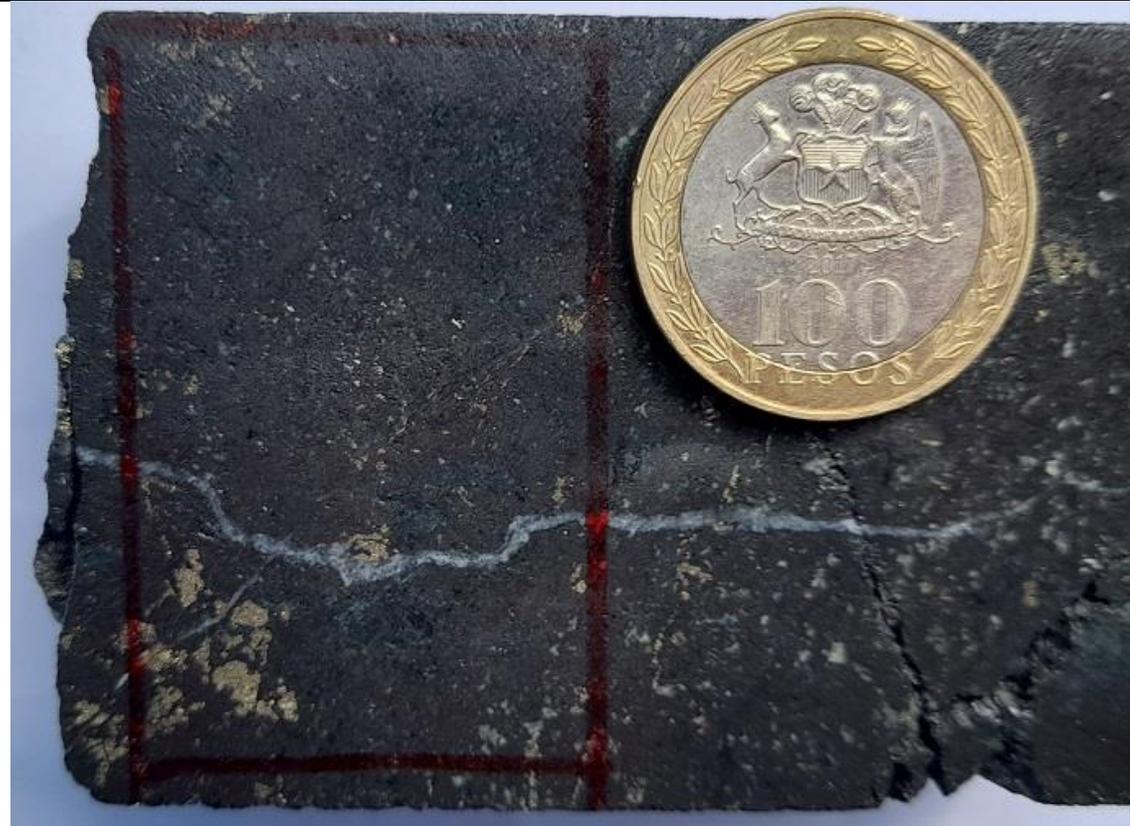
14MC18 M17 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Se tiene una roca de caja sin una litología identificable producto de las alteraciones y mineralizaciones. El primer evento en tomar lugar corresponde a una alteración débil de clorita, seguido por una mineralización muy intensa de óxidos de hierro, lo que da lugar a una cantidad notable de hematita en la muestra. Lo siguiente en ocurrir es un evento de mineralización leve de piritas, de las cuales se reconoce que son interceptadas por una vetilla de cuarzo secundario.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	10	Vetilla sinuosa de hasta 0.9 mm de espesor, interceptando la alteración de clorita y las menas, además de cristales diseminados por los intersticios donde no hay mena.
	Clorita I	10	Alteración escasa y diseminada.
Mena/Ganga	Hematita I	70	Mineral diseminado por toda la roca alterada.
	Pirita	10	Mineralización escasa y diseminada, posterior a la hematita.

Vetillas y microtexturas

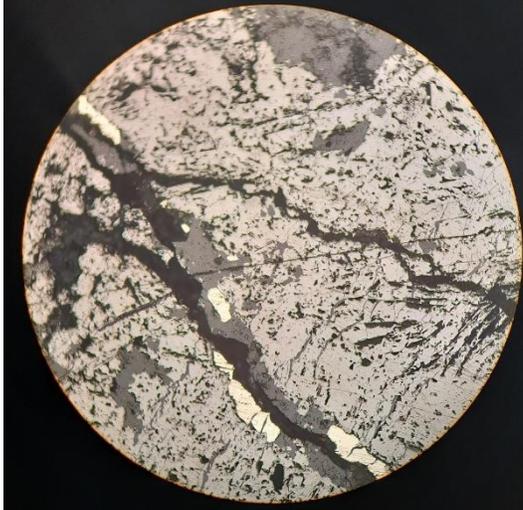
Vetilla – Relleno de cuarzo secundario, de un espesor aproximado de 1 mm.

Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Hematita I
- 4) Pirita
- 5) Sílice

Microfotografías sección pulida

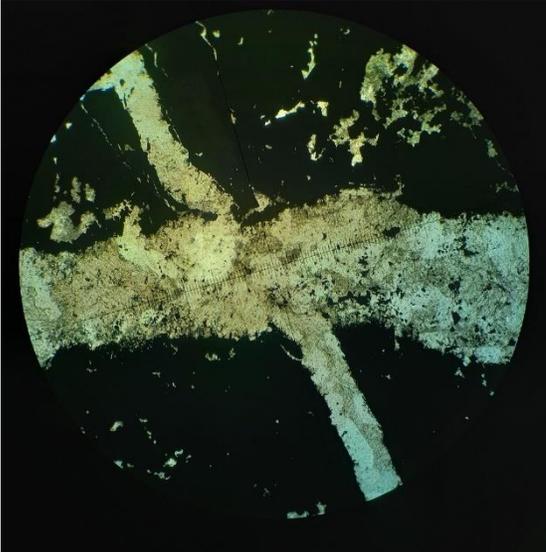
15IR51 M5 10x



Microfotografías sección transparente



15IR51 M5 10x



Sondaje	DDH15-IR-51	Muestra	M6
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja de la cual no se puede identificar debido a sus cambios por alteraciones y mineralizaciones, siendo el primer evento reconocible la de alteración de clorita, para luego ser afectada por los cuarzos secundarios. El evento que sigue es una mineralización de pirita, que es interceptada después por la magnetita II diseminada, dejando al final un evento semejante al de vetillas, de la cual puede haber una asociación entre la calcopirita y la calcita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Clorita I	30	Diseminado por la muestra y de intensidad alta.
	Calcita	5	Mineralización en forma similar a vetillas, en posible asociación con la calcopirita.
	Sílice	5	Cristales subhedrales de entre 0.3 a 0.5 mm, apareciendo en conjunto con la mena.
Mena/Ganga	Calcopirita	15	Mineralización en forma similar a vetillas, en posible asociación con la calcita.
	Pirita	15	Mineralización diseminada que es interceptada por la magnetita II y la calcopirita.
	Magnetita II	30	Se encuentra diseminada por la roca alterada e intercepta a la pirita.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Relleno por una posible asociación entre calcopirita y calcita entre 3 a 8 mm.

Falla – Es el que generaría una partición en la vetilla de calcopirita con calcita.

Relaciones cronológicas

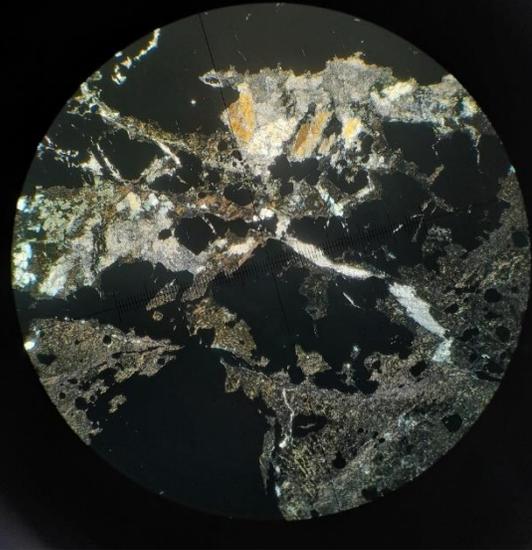
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita + Calcita

Microfotografías sección pulida

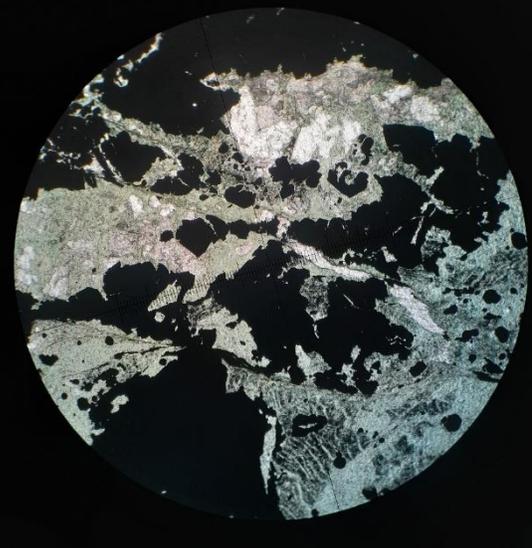
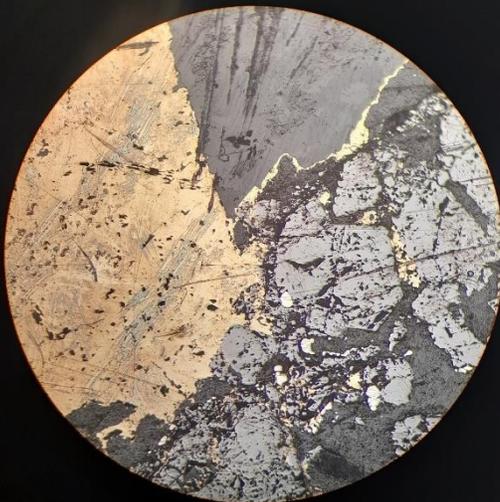
15IR51 M6 10x



Microfotografías sección transparente



15IR51 M6 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja está siendo afectada en su totalidad por una alteración de cuarzos secundarios, donde después surge un evento mineralizador de magnetita I, diseminada en toda la muestra. El siguiente evento mineralizador corresponde a la pirita, pero es muy escasa, lo mismo que ocurre con la magnetita II que la intercepta y por último la calcopirita, que se manifiesta como una vetilla. Por último, ocurre un evento de intromisión de los cristales de piroxeno alrededor de aquella vetilla de calcopirita, colocándose en sus bordes.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	70	Cristales de grano fino, diseminados por toda la roca de caja.
	Piroxeno	25	Forman parte de los bordes de la vetilla, como cristales subhedrales de entre 1.5 a 5 mm, logrando interceptar al cuarzo secundario y la mena.
Mena/Ganga	Calcopirita	2	Alteración que logra interceptar a la magnetita II pero es afectada por la pirita.
	Pirita	1	Mineralización muy escasa que logra interceptar a la calcopirita.
	Magnetita I	1	Cristales muy finos y diseminados por la roca.
	Magnetita II	1	Mineralización muy escasa que es interceptada por la calcopirita

Vetillas y microtexturas

Vetilla (Piroxeno) – Vetilla inicial que es paralelo la longitud de la muestra, interceptada por otra vetilla, provocando un efecto de falla.

Vetilla (Calcopirita + Cuarzo secundario) – Recubierto por piroxeno, con un espesor total de 5 mm.

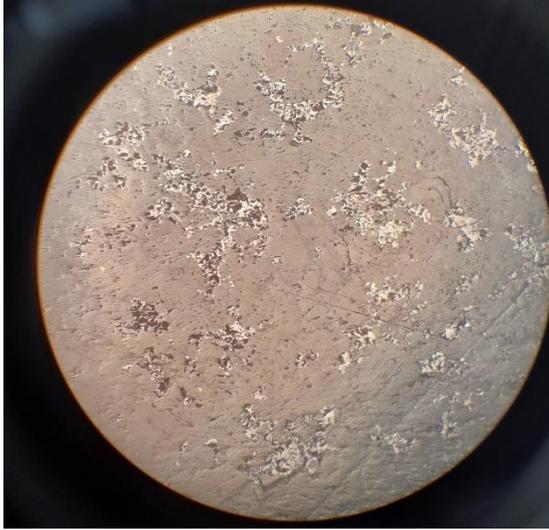
Falla – Producido por la vetilla de calcopirita con cuarzo secundario.

Relaciones cronológicas

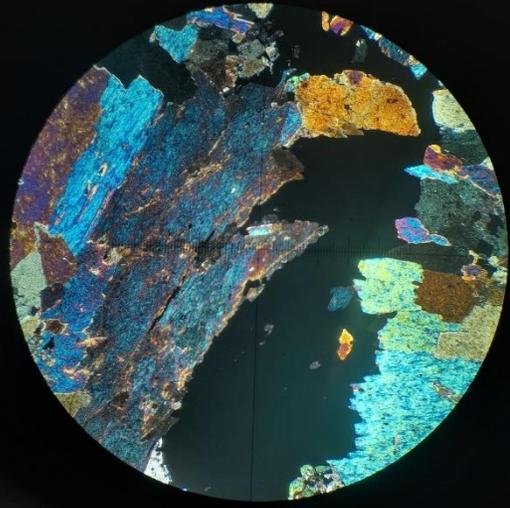
- 1) Roca de caja
- 2) Sílice
- 3) Magnetita I
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Piroxeno

Microfotografías sección pulida

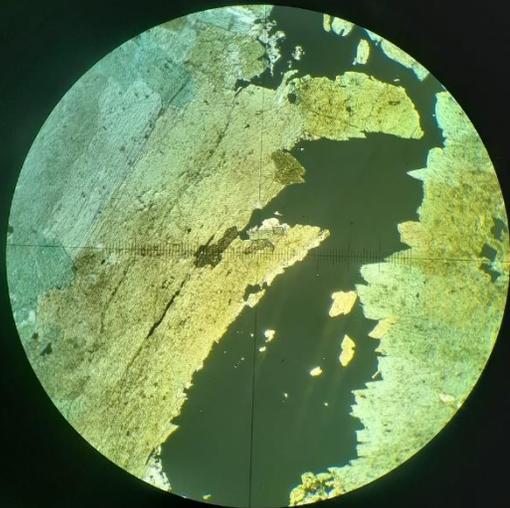
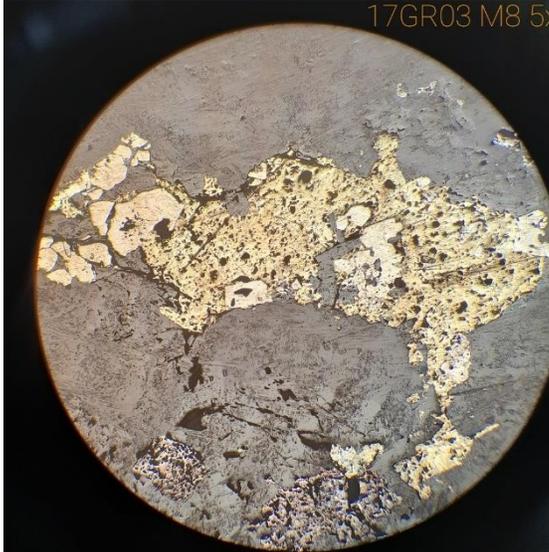
17GR03 M7 5x



Microfotografías sección transparente



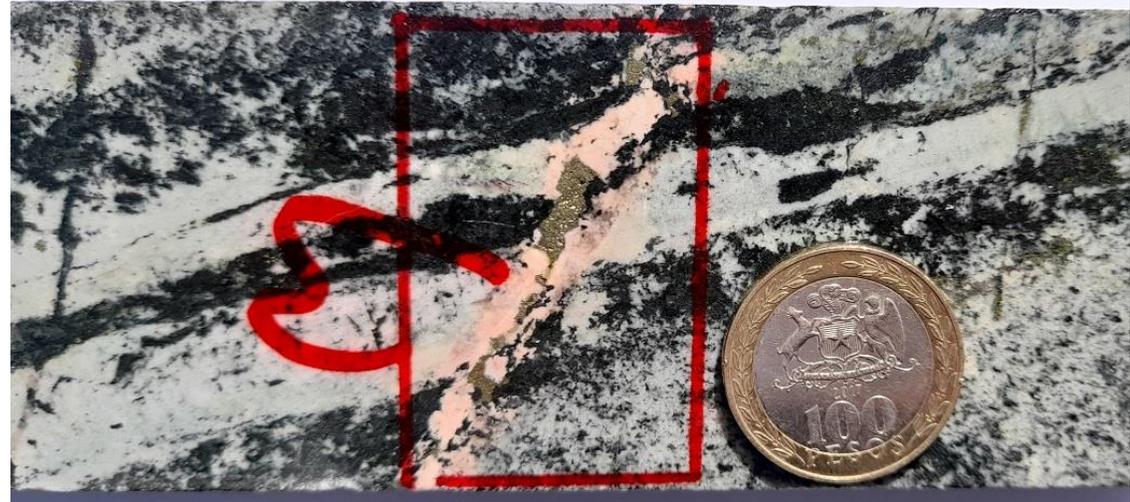
17GR03 M8 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja está siendo afectada por una alteración intensa de cuarzo secundario, seguido por una vetilla de feldespato potásico, la cual es interceptada por la intrusión de piroxeno cuyos cristales se dan entre 0.1 y 1 mm de longitud. Estos últimos son interceptados por un evento mineralizador muy escaso de calcopirita, seguido por la magnetita II todavía más escasa y finalmente por la pirita, en una igual proporción.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	30	Alteración diseminada por la roca de caja.
	Feldespato potásico	15	Vetilla que es interceptada por los cristales de piroxeno y la mena.
	Piroxeno	50	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 1.2 mm, que interceptan a las alteraciones.
Mena/Ganga	Calcopirita	3	Intercepta a la magnetita II y a los cristales de piroxeno, pero es interceptado por la pirita.
	Pirita	1	Mineralización muy escasa que intercepta a la calcopirita.
	Magnetita II	1	Mineralización muy escasa que es interceptada por la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

Bandeado – Generado por los cristales de piroxeno sobre la matriz de cuarzo secundario.

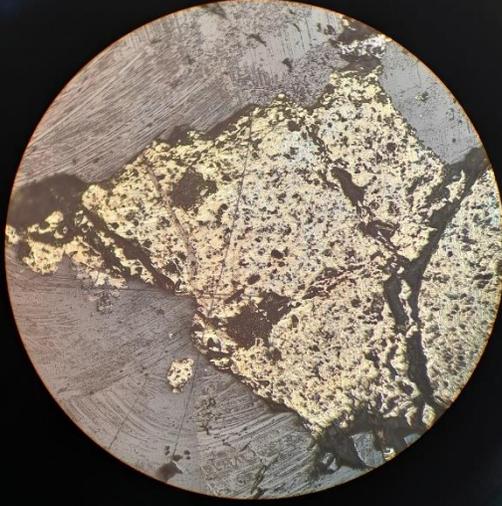
Vetilla – Relleno de feldespato potásico seguido por calcopirita, con espesor de 8 mm.

Relaciones cronológicas

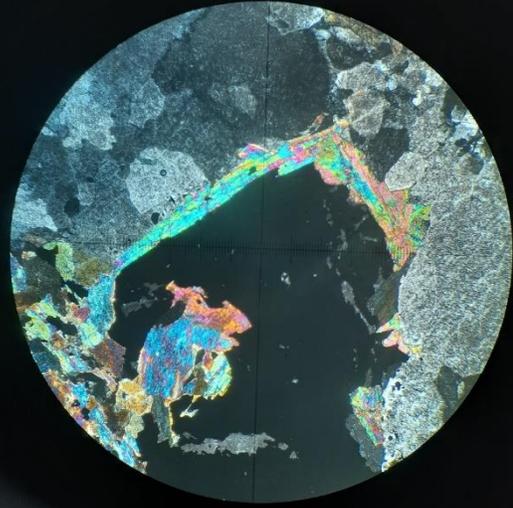
- 1) Roca de caja
- 2) Sílice
- 3) Feldespato potásico
- 4) Piroxeno
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Pirita

Microfotografías sección pulida

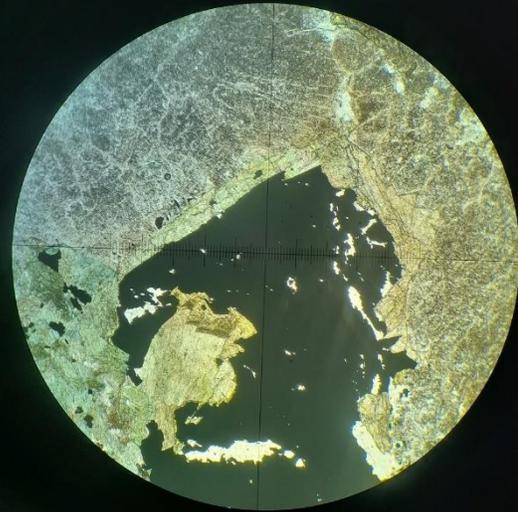
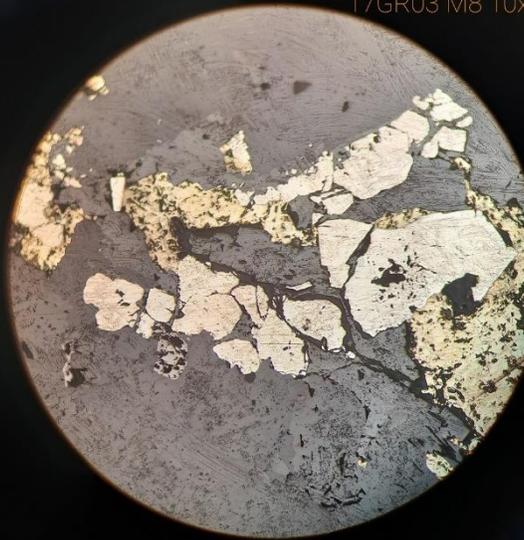
17GR03 M8 10x



Microfotografías sección transparente



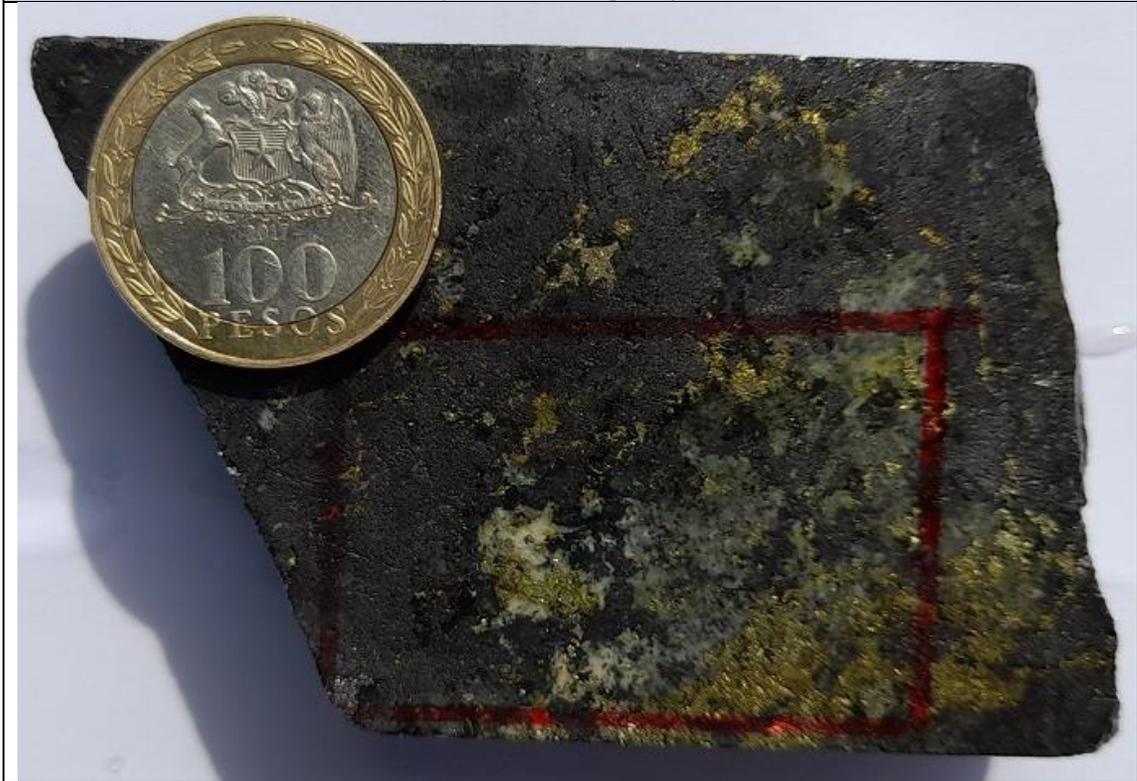
17GR03 M8 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja es afectada en primer lugar por una alteración de feldespato potásico, seguido por la llegada de cristales de actinolita con hornblenda, los que posteriormente son interceptados por un evento mineralizador de piritas, luego por la mineralización de magnetita II, concluyendo con un evento de mineralización de calcopiritas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	Plagioclasa	1	Cristales anhedrales de hasta 0.1 mm
	Hornblenda	20	Interceptada por las menas, con cristales subhedrales de 0.5 a 2.5 mm
Alteración	Actinolita	5	Cristales que interceptan al feldespato potásico, pero afectada por las menas. Se da la variante normal y la enriquecida con hierro.
	Feldespato potásico	30	Alteraciones diseminadas por la muestra.
	Sílice	5	Cristales muy finos diseminados por la roca de caja.
Mena/Ganga	Magnetita II	24	Mineralización interceptada por la calcopirita.
	Pirita	5	Mineralización interceptada por la calcopirita.
	Calcopirita	10	Mineralización que intercepta a la magnetita II y la pirita.

Vetillas y microtexturas

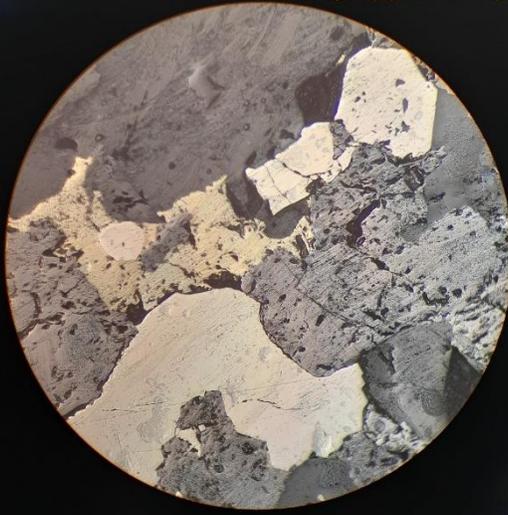
No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

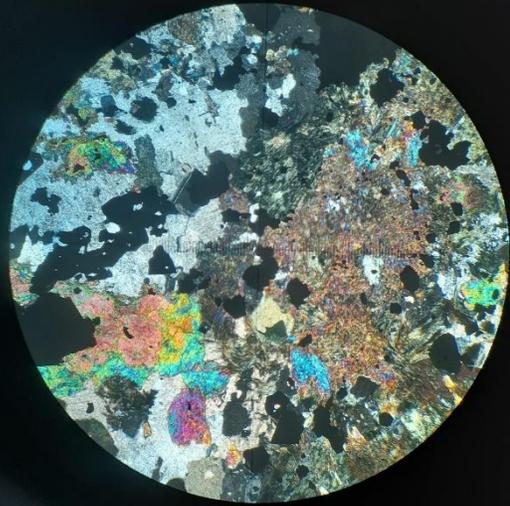
- 1) Plagioclasa (restos de roca de caja)
- 2) Hornblenda (restos de roca de caja)
- 3) Feldespato potásico
- 4) Sílice
- 5) Actinolita
- 6) Pirita
- 7) Magnetita II
- 8) Calcopirita

Microfotografías sección pulida

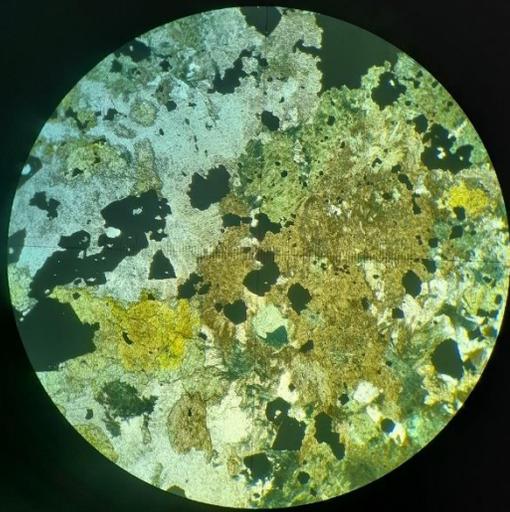
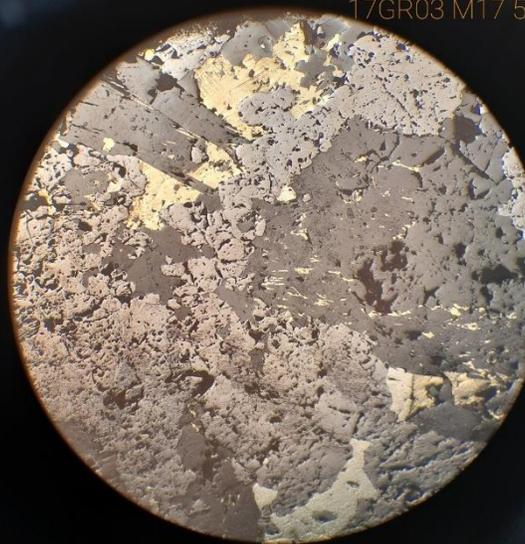
17GR03 M17 10x



Microfotografías sección transparente



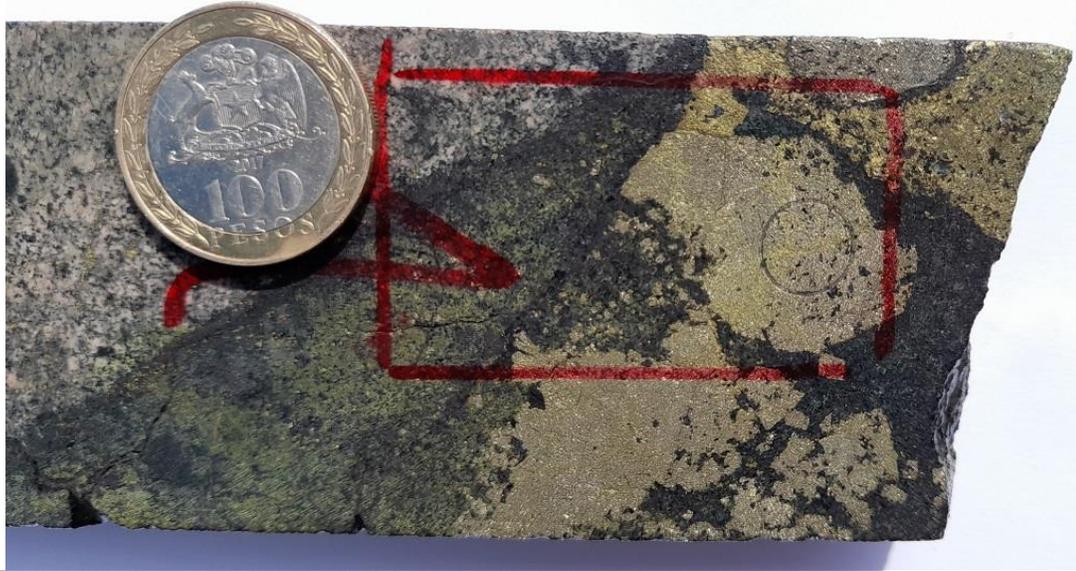
17GR03 M17 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Al comienzo, la roca de caja es afectada por una alteración intensa de feldespato potásico, a la cual después se le suma una alteración de epidota, para luego ser afectada por un evento mineralizador de pirita. Posteriormente a las piritas surge un evento mineralizador de magnetita II, concluyendo con una mineralización de calcopirita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Epidota	30	Cristales muy finos, afectan al feldespato potásico, pero son afectados por la mena.
	Feldespato potásico	20	Alteración disseminada por la roca de caja.
Mena/Ganga	Magnetita II	10	Mineralización interceptada por la calcopirita.
	Pirita	20	Mineralización donde es interceptada por la calcopirita.
	Calcopirita	20	Intercepta a la pirita y a la magnetita II.

Vetillas y microtexturas

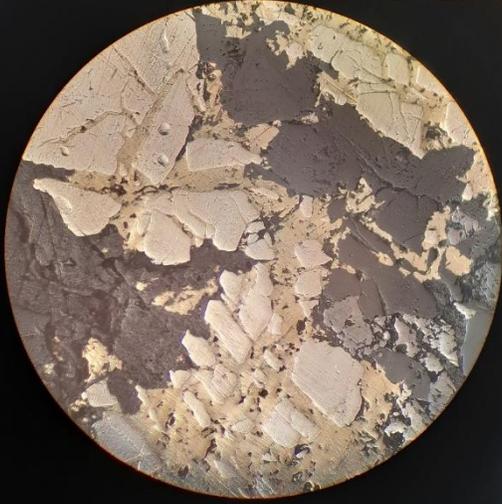
No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

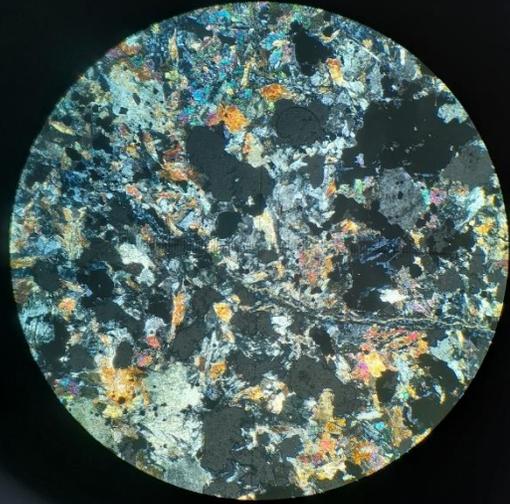
- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Epidota
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita

Microfotografías sección pulida

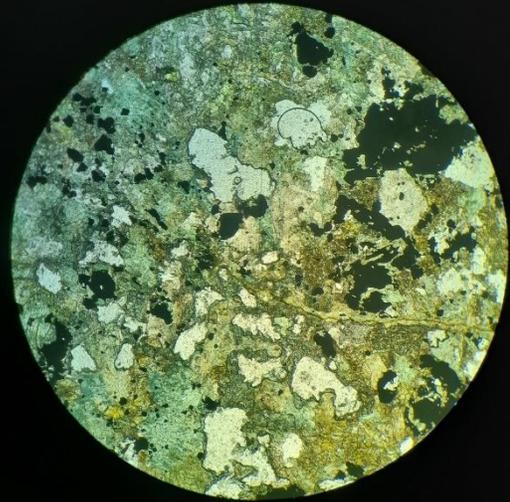
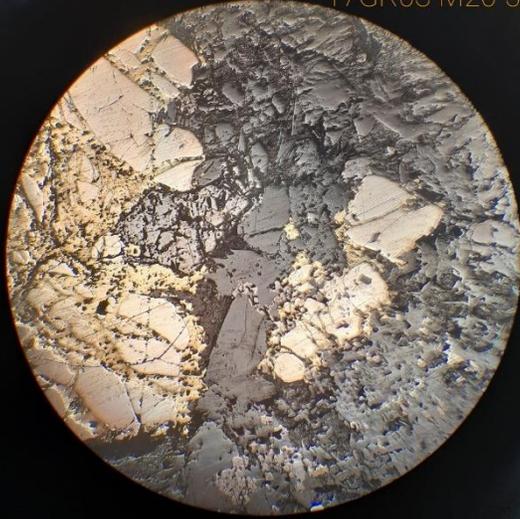
17GR03 M20 10x



Microfotografías sección transparente



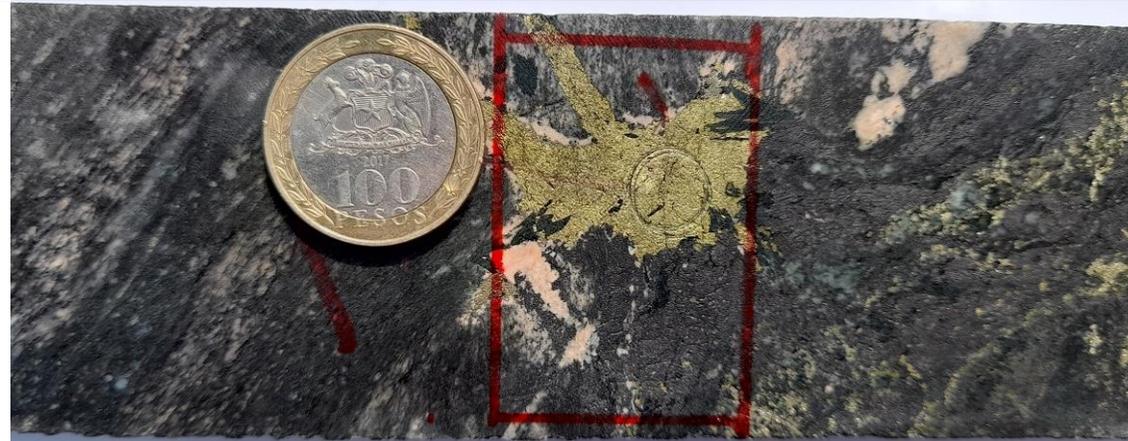
17GR03 M20 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja cuya litología no es reconocible por los eventos de alteración y de mineralización, empezando por una alteración de feldespato potásico, la cual es interceptada por cristales de cuarzo secundario. Luego de aquellas alteraciones, sucede un evento mineralizador de pirita, seguido por una mineralización diseminada de magnetita II, para luego ser ambas interceptadas por una mineralización de calcopirita. Como último evento registrado en la muestra, surgen cristales de piroxeno que interceptan a la última mena.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Feldespato potásico	10	Alteración escasa, interceptada por las menas.
	Sílice	20	Cristales muy finos diseminados en la roca.
	Piroxeno	20	Cristales subhedrales entre 0.5 a 2.5 mm que interceptan a la mena.
Mena/Ganga	Calcopirita	25	Mineralización que intercepta a la magnetita II y a la pirita, pero es afectada por los cristales de piroxeno.
	Magnetita II	20	Mineralización que intercepta a la pirita.
	Pirita	5	Mineralización que es interceptada por la calcopirita y la magnetita II.

Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

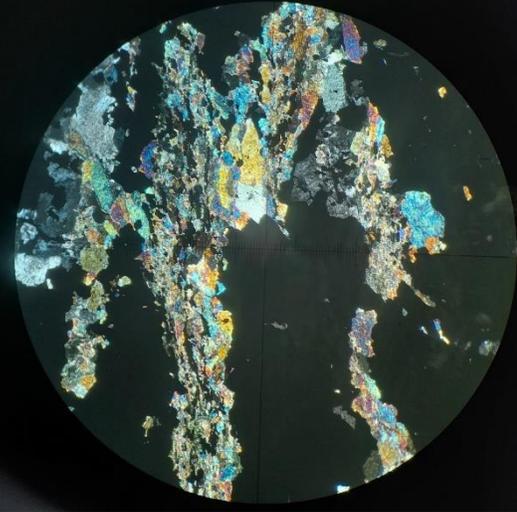
- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Sílice
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Piroxeno

Microfotografías sección pulida

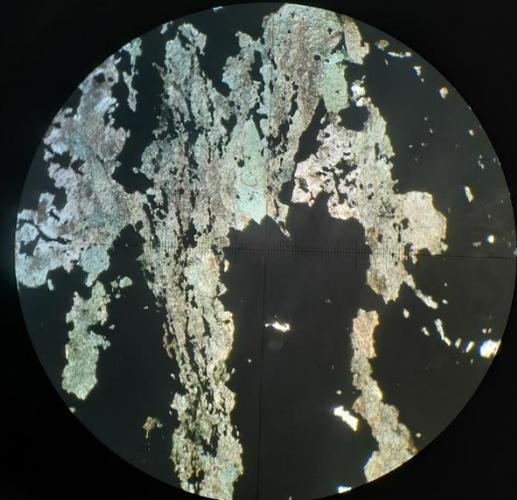
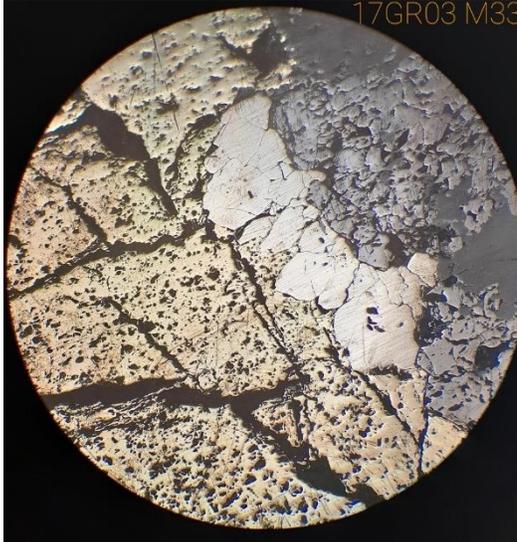
17GR03 M33 5x



Microfotografías sección transparente



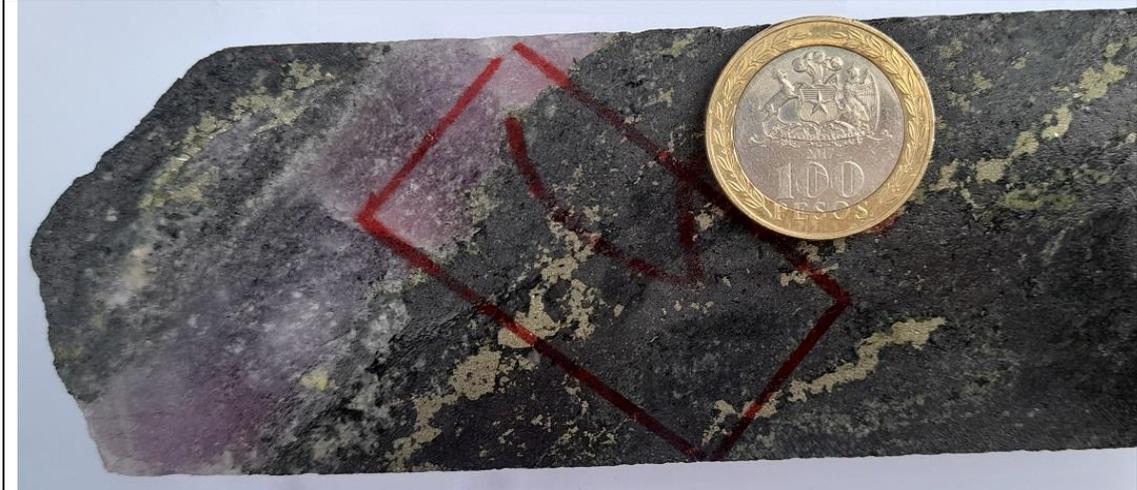
17GR03 M33 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca es afectada por la alteración de cuarzo secundario, después por feldespato potásico, ambos de carácter leve. Posteriormente ocurre una intromisión de cristales de actinolita y piroxeno que interceptan a la roca, para después ser afectados por un evento mineralizador de pirita con vetillas de casi la misma orientación, seguido de magnetita II que se encuentra en mayor proporción diseminada y que es después interceptada por la calcopirita. Al final una veta de anhidrita se encarga de interceptar a la roca por completo.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Piroxeno	10	Cristales diseminados que son interceptados por la mena.
	Anhidrita	20	Vetilla de 28 mm de grosor, apareciendo en una etapa muy tardío de la roca.
	Actinolita	20	Cristales aciculares que interceptan a la roca.
	Sílice	8	Cristales diseminados, interceptados por las menas,
	Feldespato potásico	7	Cristales diseminados, interceptados por las menas.
Mena/Ganga	Calcopirita	5	Mineralización diseminada, intercepta la pirita.
	Magnetita II	25	Mineralización diseminada, intercepta la pirita.
	Pirita	5	Mineralización diseminada, interceptada por la magnetita II y la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

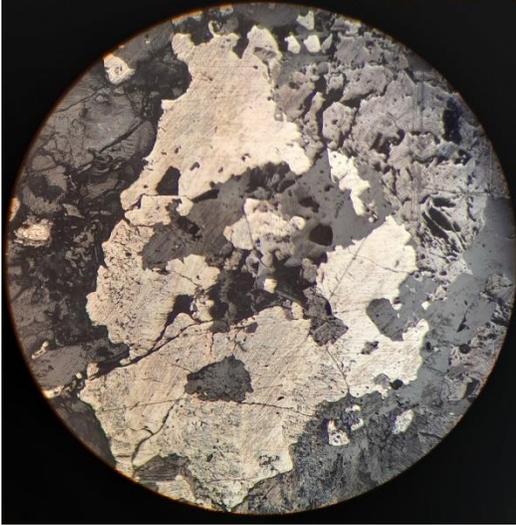
Vetilla – Compuesto por anhidrita, intercepta a la roca por completo, con un espesor de 28 mm.
 Vetilla – Compuesto por pirita y calcopirita, toma una orientación similar a la vetilla de anhidrita.

Relaciones cronológicas

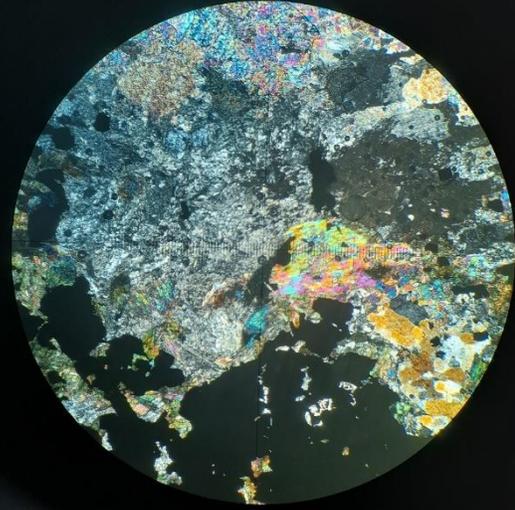
- 1) Roca de caja
- 2) Sílice
- 3) Feldespato potásico
- 4) Actinolita
- 5) Piroxeno
- 6) Pirita
- 7) Magnetita II
- 8) Calcopirita
- 9) Anhidrita

Microfotografías sección pulida

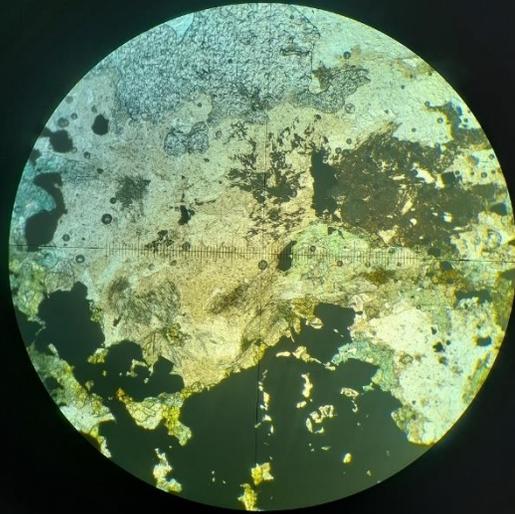
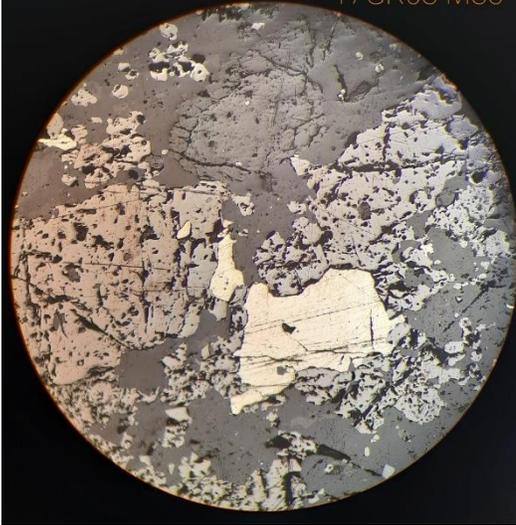
17GR03 M36 10x



Microfotografías sección transparente



17GR03 M36 10x

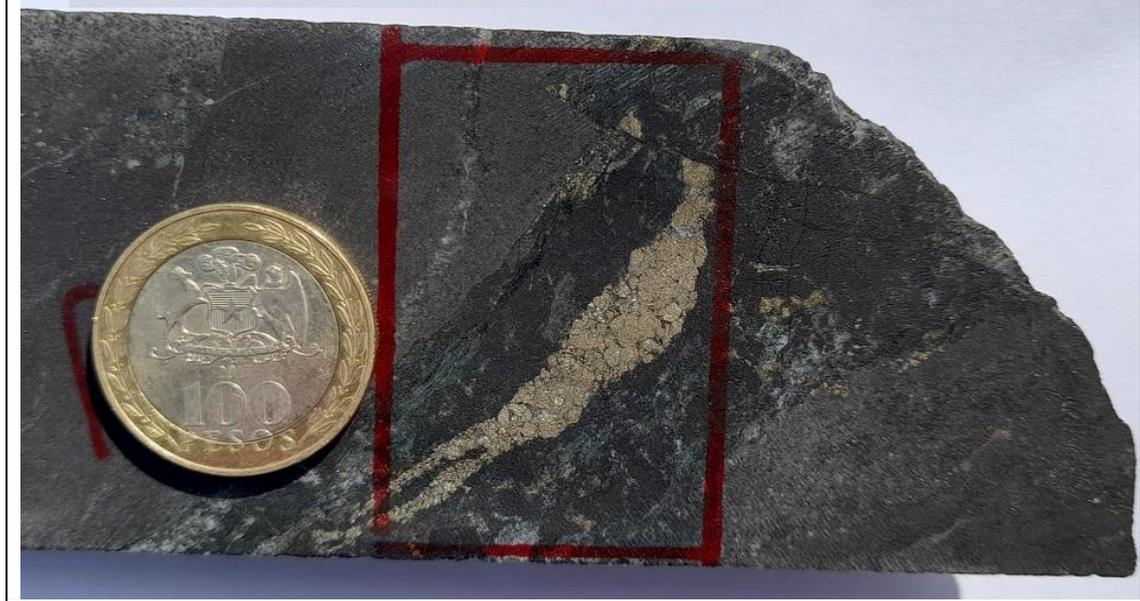


Sondaje	DDH17-MC-18	Muestra	M5
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja afectada por una alteración de clorita, manifestada como una alteración diseminada y una vetilla. Luego ocurre una intromisión masiva de mineralización de magnetita II y después ocurre una mineralización de calcopirita que es interceptada posteriormente por pirita que se manifiesta como vetilla. Finalmente se dan intromisiones de calcita diseminada y como una vetilla que intercepta a la roca mineralizada.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	15	Se da como una alteración que rellena intersticios donde no se da mineralización.
	Clorita I	10	Se manifiesta como una alteración diseminada y como una vetilla de 0.1 mm de espesor.
Mena/Ganga	Magnetita II	55	Mineralización masiva que abarca gran parte de la roca.
	Calcopirita	5	Mineralización que intercepta la magnetita II pero es afectada por la pirita
	Pirita	15	Mineralización con una orientación casi definida, que logra interceptar a la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

Vetilla (calcita) – Sinuosa, con un espesor de 1 mm.
 Vetilla (pirita) – Espesor de entre 1 a 8 mm.
 Vetilla (clorita) – Espesor de hasta 1 mm.
 Falla – En la roca se da una fractura que moviliza un fragmento de la vetilla de pirita.

Relaciones cronológicas

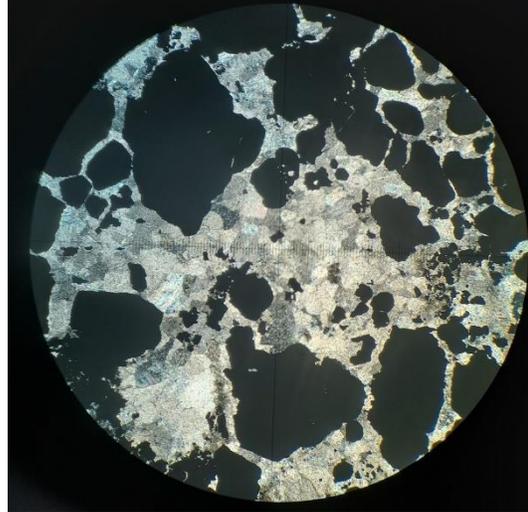
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Magnetita II
- 4) Calcopirita
- 5) Pirita
- 6) Calcita

Microfotografías sección pulida

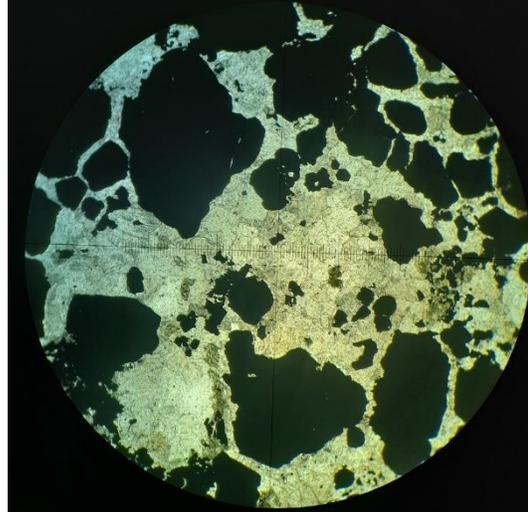
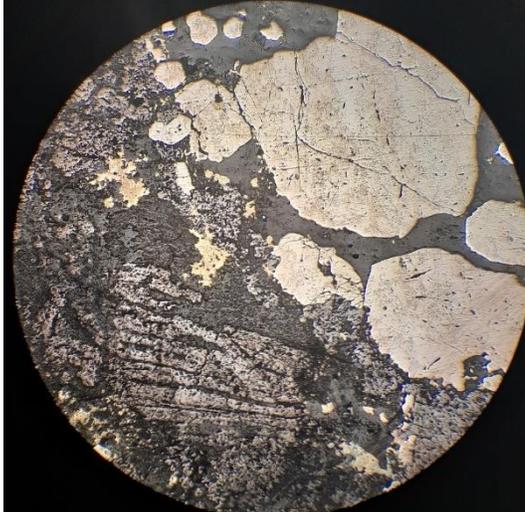
17MC18 M5 5x



Microfotografías sección transparente



17MC18 M5 5x

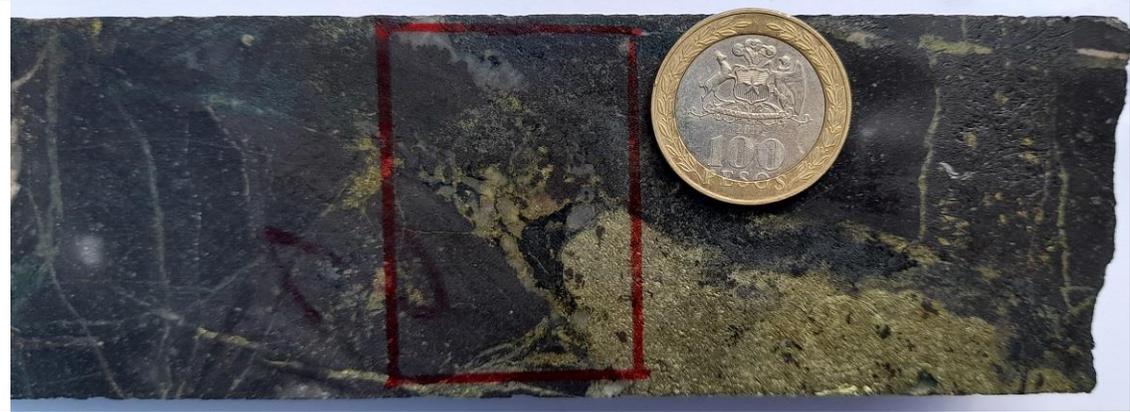


Sondaje	DDH17-MC-18	Muestra	M8
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Una roca de caja que es alterada por clorita diseminada, donde después es afectada por los cristales de cuarzo secundario y luego ser afectada por los cristales de piroxeno. En los eventos mineralizadores posteriores, se comienza por la intromisión de magnetita II, seguido por la calcopirita y luego esta es afecta por la intromisión de pirita más una ligera intromisión de goethita entre la mena de magnetita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	45	Cristales muy finos a finos, subhedrales, los cuales son interceptados por las menas y los cristales de piroxeno.
	Clorita I	15	Alteración diseminada, interceptado por las menas.
	Piroxeno	15	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 0.8 mm, interceptando el cuarzo secundario.
Mena/Ganga	Pirita	1	Aparece interceptando a la calcopirita como pequeños cristales.
	Magnetita II	20	Mineralización diseminada por toda la roca.
	Calcopirita	8	Mineralización que intercepta a la magnetita II
	Goethita	1	Se manifiesta como vetillas dentro de la magnetita II.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Múltiples, rellenos con calcopirita, con un grosor menor a 1 mm.

Fractura – Influenciando la llegada de vetillas en la roca.

Relaciones cronológicas

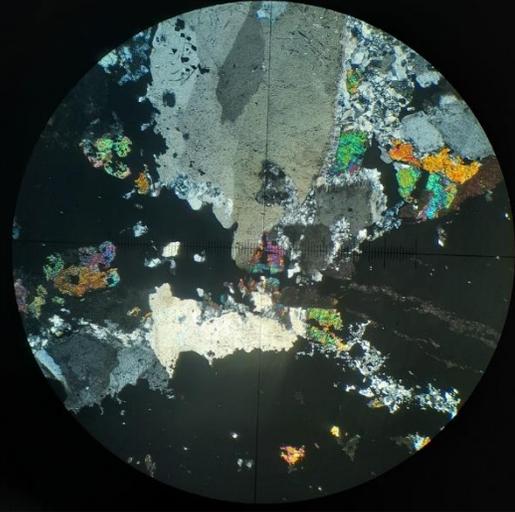
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Piroxeno
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Pirita
- 8) Goethita

Microfotografías sección pulida

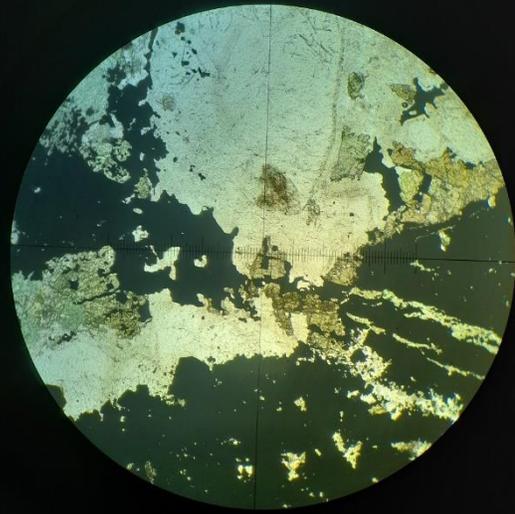
17MC18 M8 5x



Microfotografías sección transparente



17MC18 M8 5x



Sondaje	DDH17-MC-18	Muestra	M13
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca es afectada por una alteración de clorita de intensidad moderada, para que después sucedan los eventos de mineralización de pirita y calcopirita respectivamente. Desde allí se genera una mineralización de magnetita II en los bordes de las menas anteriores y por último ocurre una intromisión de alteración de calcita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	10	Cristales que rellenan intersticios que no son ocupados por las menas.
	Clorita I	20	Alteración de intensidad moderada que se encuentra con la calcita, interceptado por las menas.
Mena/Ganga	Magnetita II	20	Mineralización que es interceptada por la calcopirita, pero además surge en los bordes de las menas de pirita y calcopirita.
	Calcopirita	25	Intercepta a la pirita.
	Pirita	25	Interceptada por la calcopirita y la magnetita II.

Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

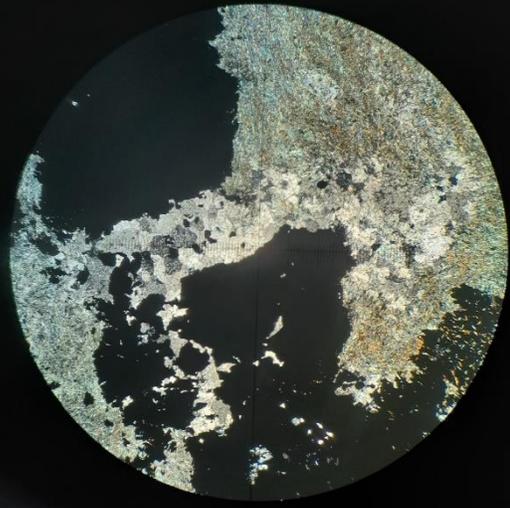
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Pirita
- 4) Calcopirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcita

Microfotografías sección pulida

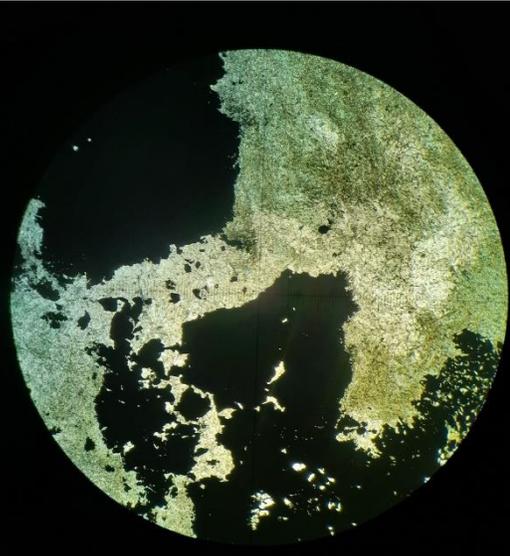
17MC18 M13 5x



Microfotografías sección transparente



17MC18 M13 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Una roca de caja que recibe una alteración de clorita, que posteriormente es afectada por cristales de cuarzo secundario en la muestra. Continuando con los cambios de la roca ocurre la mineralización de pirita que intercepta a la roca, seguido por un evento mineralizador de magnetita II. Desde allí aparece un evento de mineralización de calcopirita, además de un posterior cambio en los óxidos de hierro pasando así a la mushketovita y finalmente, una manifestación de goethita en las cercanías de las menas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	Plagioclasa	1	Cristales anhedrales de hasta 0.1 mm
Alteración	Sílice	34	Cristales subhedrales de entre 0.1 a 0.5 mm, interceptado por las menas.
	Clorita I	10	Alteración disseminada e interceptada por las menas.
Mena/Ganga	Mushketovita	2	Mineralización que intercepta a la calcopirita.
	Magnetita II	20	Mineralización dispersa por la roca alterada e intercepta a la pirita.
	Pirita	17	Interceptada por la magnetita II.
	Calcopirita	1	Interceptada por la mushketovita.
	Goethita	15	Disseminada y alrededor de las menas.

Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

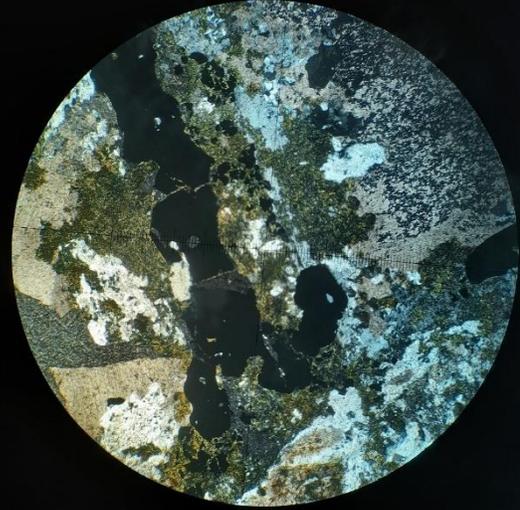
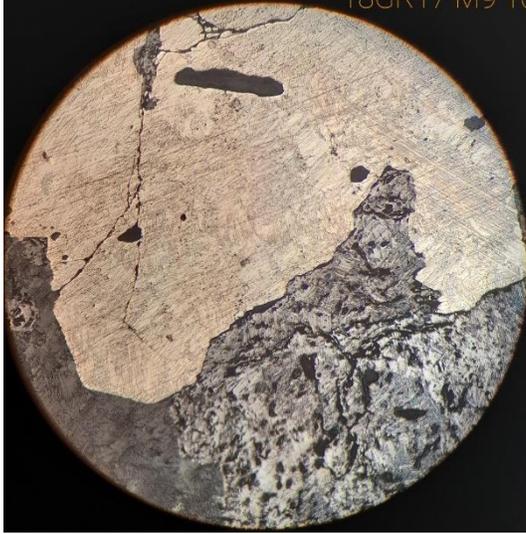
Relaciones cronológicas

- 1) Plagioclasas (restos de la roca de caja)
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Pirita
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Mushketovita
- 8) Goethita

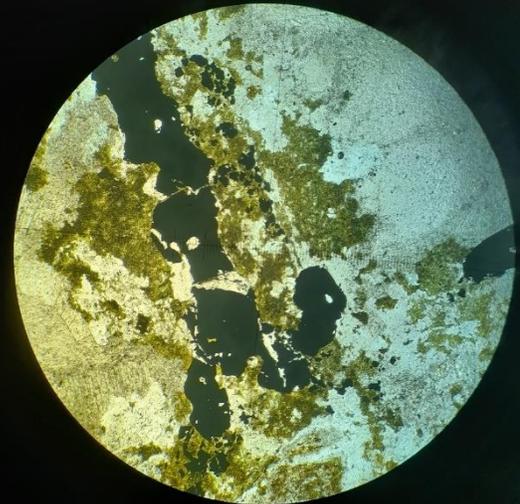
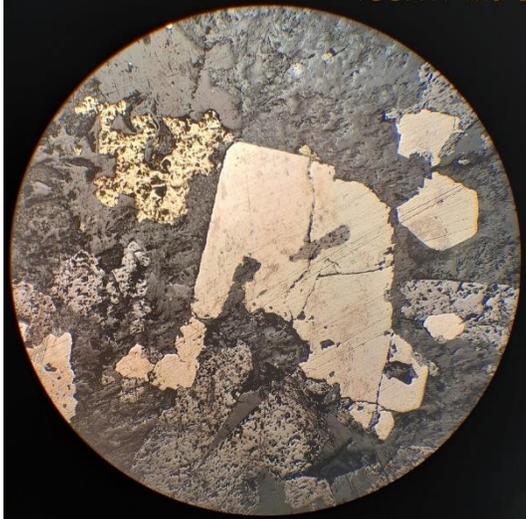
Microfotografías sección pulida

Microfotografías sección transparente

18GR17 M9 10x



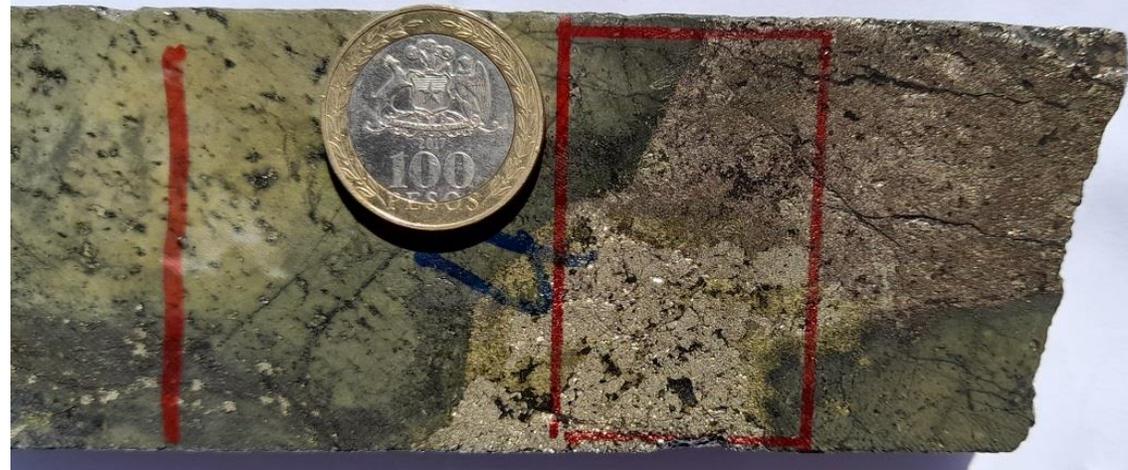
18GR17 M9 5x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja sufre una alteración muy intensa conformada por una combinación entre el cuarzo secundario y la clorita, propagándose por toda la muestra. Lo siguiente es un evento mineralizador de pirita, donde una porción importante de esta se transforma en pirrotina. A este cambio le sigue una mineralización de magnetita II, la que es interceptada por un evento de mineralización de calcopirita, concluyendo con la presencia de goethita interceptando a las menas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Clorita I	50	Alteración masiva y diseminada por la muestra. Estaría precipitando en conjunto con el cuarzo secundario.
	Sílice	5	Cristales anhedrales de entre 0.1 a 0.3 mm, interceptados por las menas y estaría precipitando en conjunto con la clorita.
Mena/Ganga	Goethita	5	Diseminada en los intersticios cercanos a las menas.
	Pirita	10	Mineralización masiva que intercepta a la roca alterada
	Pirrotina	15	Transformación que se da en conjunto con la pirita.
	Calcopirita	10	Mineralización que intercepta a la pirita y a la magnetita II
	Magnetita II	5	Mineralización que es interceptada por la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

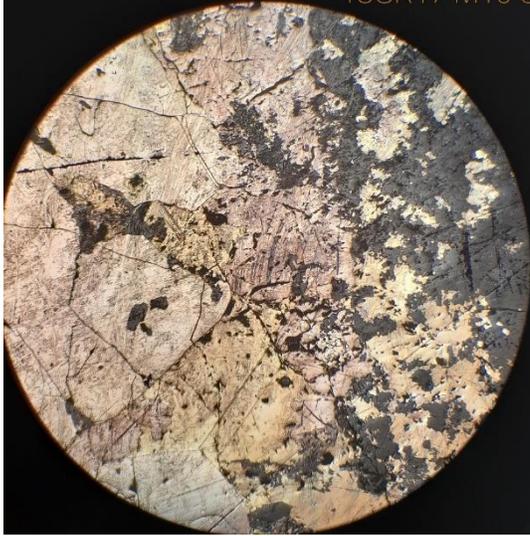
Vetilla – Mineralización de pirita, pirrotina y calcopirita, con un espesor de entre 28 a 42 mm.

Relaciones cronológicas

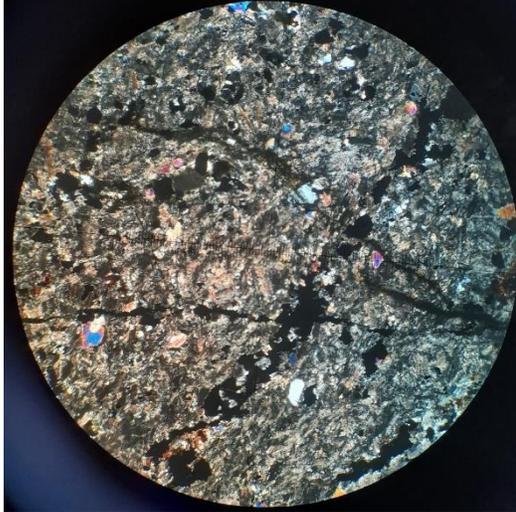
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I + Sílice
- 3) Pirita
- 4) Pirrotina
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Goethita

Microfotografías sección pulida

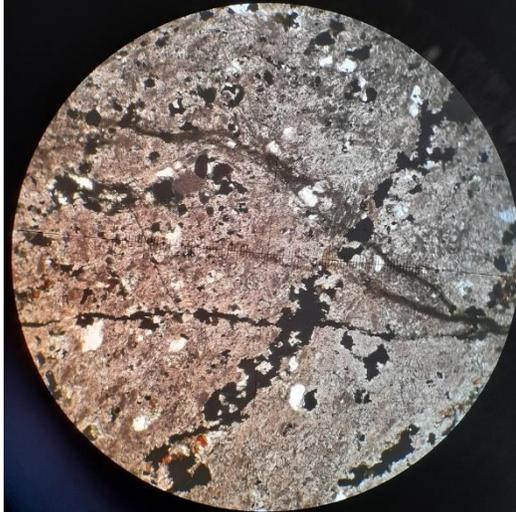
18GR17 M10 5x



Microfotografías sección transparente



18GR17 M10 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja sin litología reconocible, con una alteración inicial de clorita, seguido por la intrusión evento de mineralización en gran proporción de pirita. Para ese momento la pirita es interceptada por la magnetita II, mientras que esta después es interceptada por la calcopirita, dejando al final con cristales aciculares de actinolita que se introducen en las menas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Actinolita	30	Cristales aciculares, diseminados.
	Clorita I	10	Alteración de intensidad débil.
Mena/Ganga	Calcopirita	7	Mineralización que es interceptada por la actinolita.
	Pirita	50	Mineralización masiva.
	Magnetita II	3	Mineralización que es intercepta a las piritas.

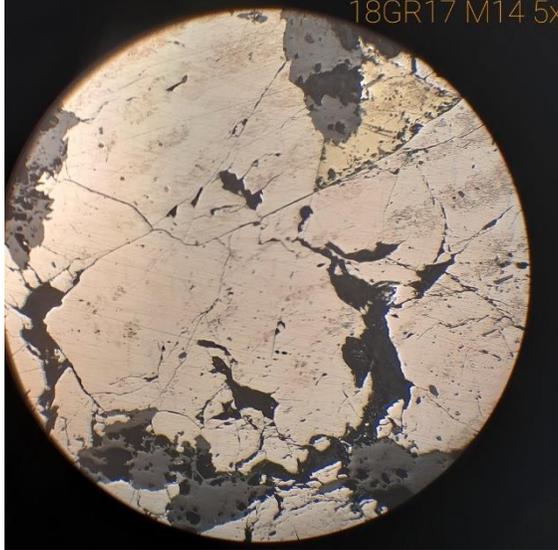
Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

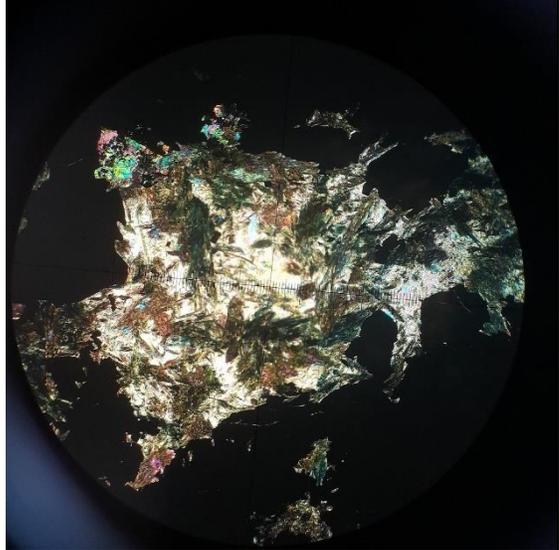
Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Pirita
- 4) Magnetita II
- 5) Calcopirita
- 6) Actinolita

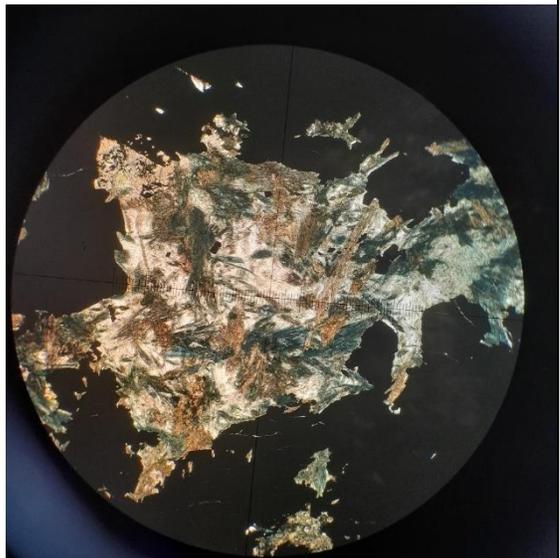
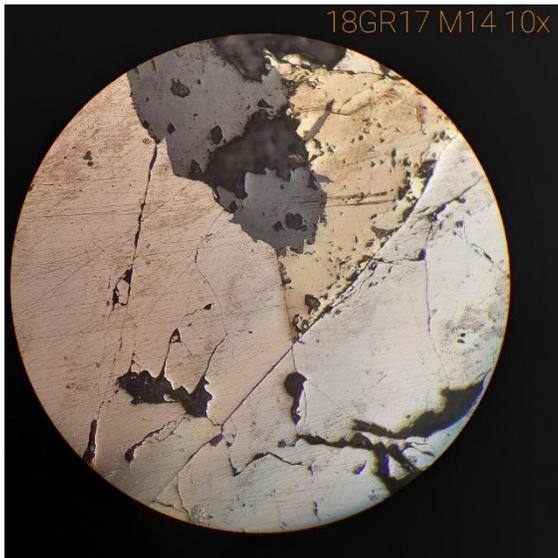
Microfotografías sección pulida



Microfotografías sección transparente



18GR17 M14 10x

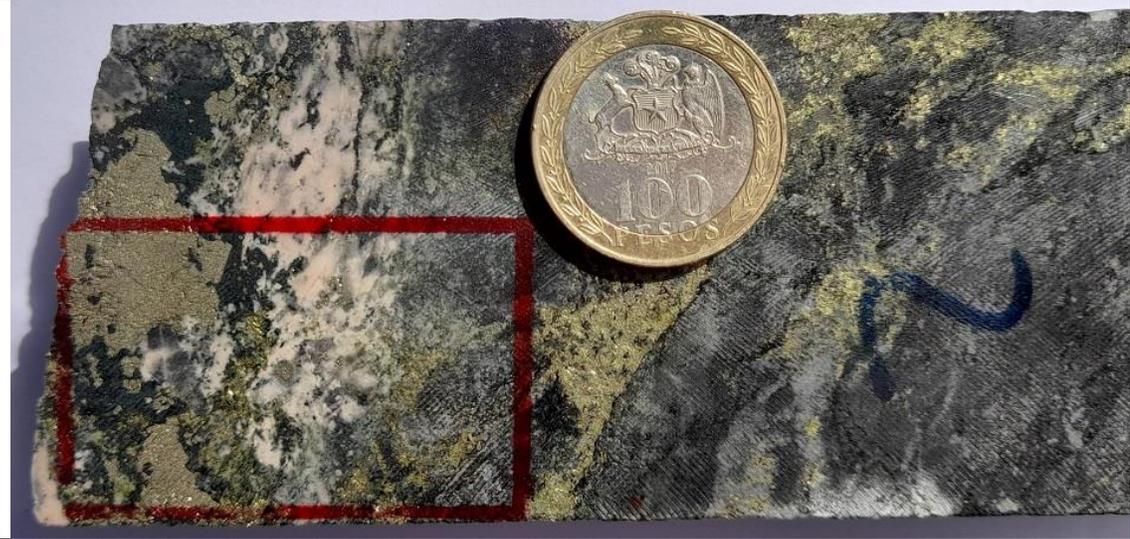


Sondaje	DDH18-GR-17	Muestra	M22
---------	-------------	---------	-----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja resulta afectada por una alteración inicial de clorita y luego por una alteración de cuarzos secundarios, para después ser interceptados por un evento mineralizador de magnetita II y después por las calcopiritas. Se dan cristales de actinolita que logran interceptar a la calcopirita, pero también se demuestra por relación de corte que son anteriores al evento de mineralización de pirita.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Actinolita	10	Cristales aciculares que interceptan a la calcopirita, pero interceptada por la pirita.
	Sílice	30	Cristales subhedrales de 0.2 a 0.5 mm.
	Clorita I	20	Alteración diseminada, de intensidad débil.
Mena/Ganga	Calcopirita	10	Mineralización que es interceptada por las piritas.
	Pirita	25	Cristales subhedrales que logran interceptar a la calcopirita.
	Magnetita II	5	Mineralización muy escasa, diseminada por la roca.

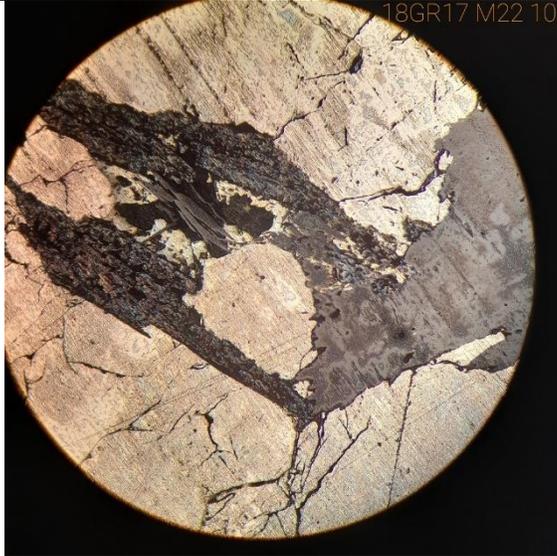
Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

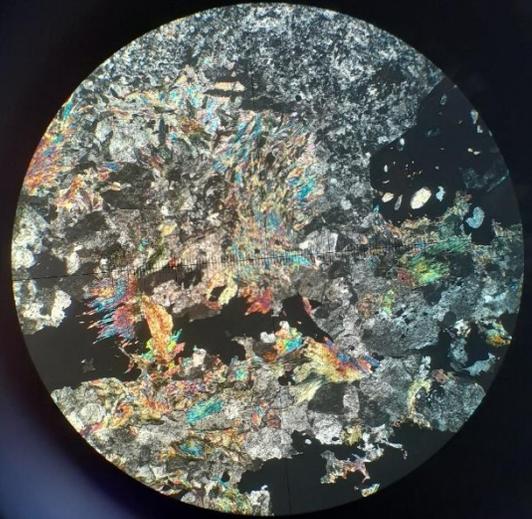
Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Magnetita II
- 5) Calcopirita
- 6) Actinolita
- 7) Pirita

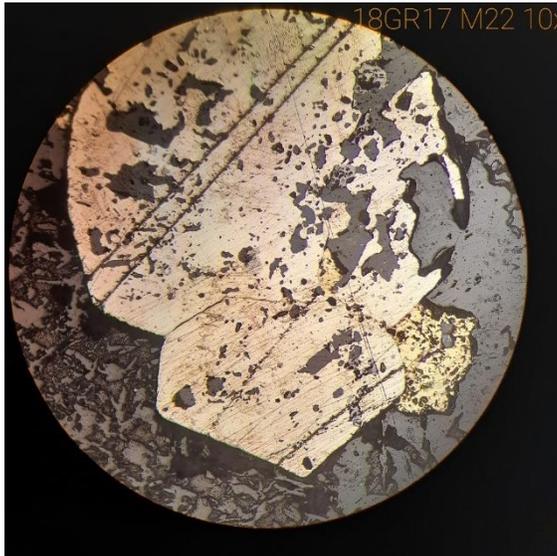
Microfotografías sección pulida



Microfotografías sección transparente



18GR17 M22 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja posee una alteración intensa de clorita, donde posteriormente se introducen cristales de epidota y luego de cuarzo secundario. Surge un evento mineralizador de pirita que intercepta a la roca alterada, seguido por la magnetita II que aparece distribuida como bandas y de modo similar aparece la mineralización de calcopirita que intercepta además a las piritas. Después de la mineralización surgen cristales de piroxeno y finalmente se contemplan bandas de goethitas que son casi paralelas a las menas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Piroxeno	15	Cristales subhedrales que interceptan a las menas.
	Sílice	15	Cristales diseminados por la muestra, interceptado por las menas.
	Epidota	5	Cristales diseminados por la roca.
	Clorita I	5	Alteración diseminada por la roca.
Mena/Ganga	Goethita	10	Alteración que genera bandas paralelas a las menas.
	Calcopirita	15	Mineralización dispersa que intercepta a la pirita y a la magnetita II.
	Pirita	20	Mineralización que es interceptada por la calcopirita.
	Magnetita II	15	Mineralización distribuida como bandas.

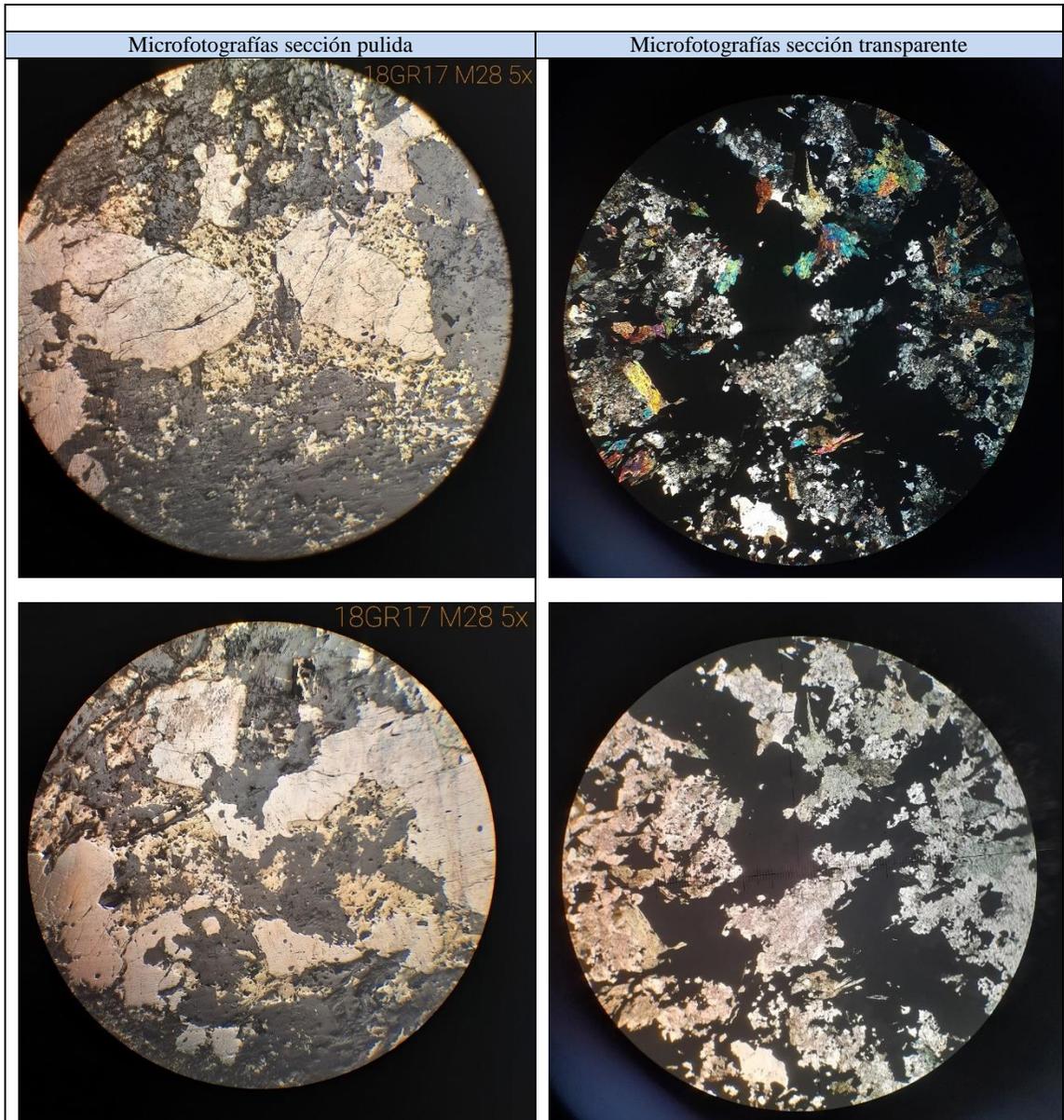
Vetillas y microtexturas

Bandeado – Desarrollado por la alteración y la mineralización en la roca.

Vetilla – Compuesto por pirita y calcopirita, con un espesor de 18 mm.

Relaciones cronológicas

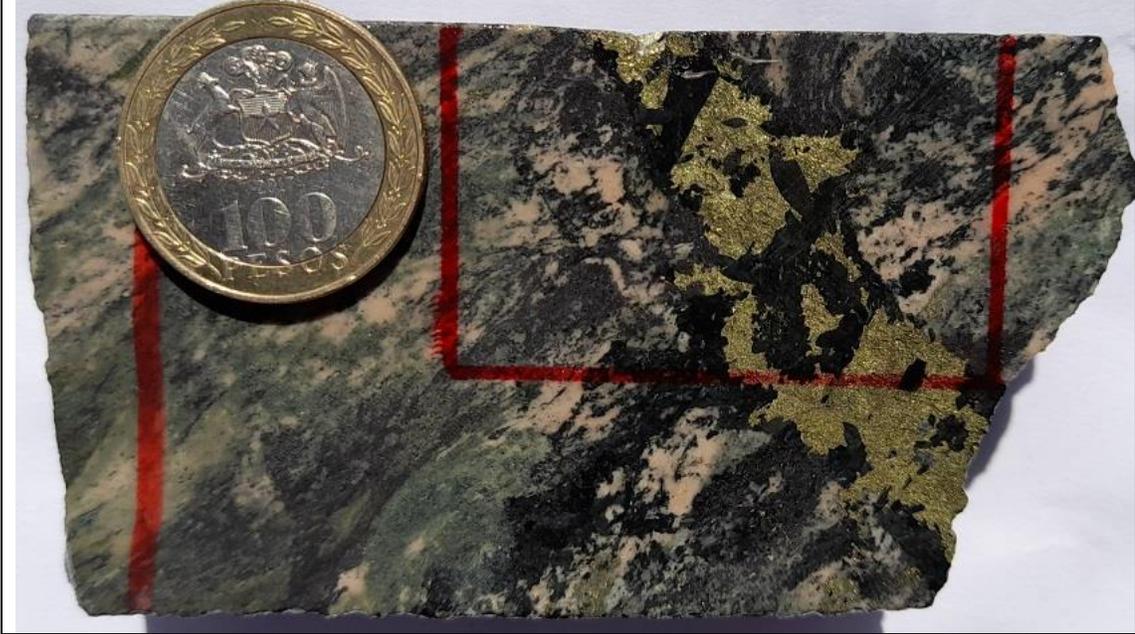
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Epidota
- 4) Sílice
- 5) Pirita
- 6) Magnetita II
- 7) Calcopirita
- 8) Piroxeno
- 9) Goethita



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Una roca de caja que es afectada por una alteración intensa de feldespato potásico y luego por clorita. Después de las alteraciones ocurren un evento mineralizador de magnetita II, luego de calcopirita y por último de piritas (en mucha menor proporción que las primeras 2 mineralizaciones). Una vez que se completan los eventos mineralizadores, surgen cristales de anfíboles que logran interceptar a las menas.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Clorita I	15	Mineralización diseminada.
	Anfíboles indiferenciados	30	Cristales euhedrales de hasta 1 mm que interceptan a las menas.
	Feldespato potásico	25	Alteración diseminada que es interceptada por los anfíboles.
Mena/Ganga	Calcopirita	15	Mineralización con orientación que intercepta a la magnetita II pero es interceptado por la pirita y los anfíboles.
	Pirita	5	Cristales subhedrales que interceptan a la calcopirita.
	Magnetita II	10	Mineralización interceptada por la calcopirita.

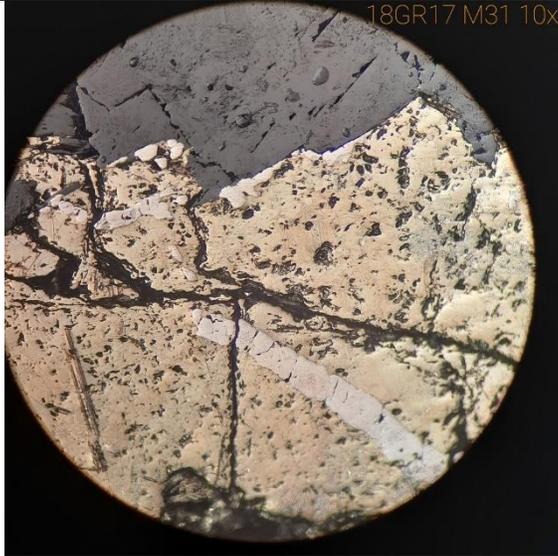
Vetillas y microtexturas

Vetilla – Compuesta de calcopirita e interceptada por los anfíboles, con un espesor de entre 14 a 20 mm.

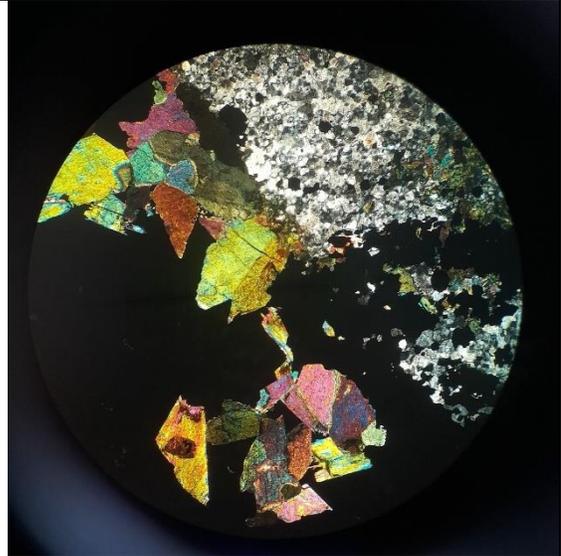
Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Clorita I
- 4) Magnetita II
- 5) Calcopirita
- 6) Pirita
- 7) Anfíboles indiferenciados

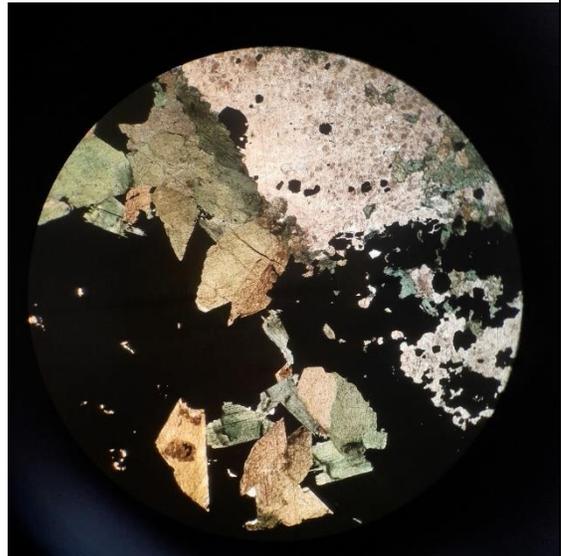
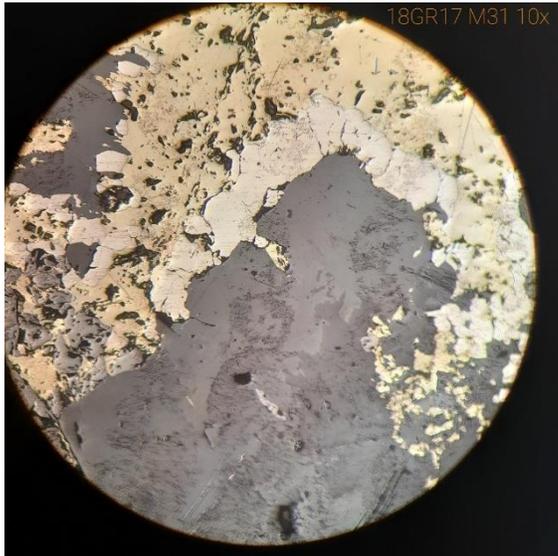
Microfotografías sección pulida



Microfotografías sección transparente



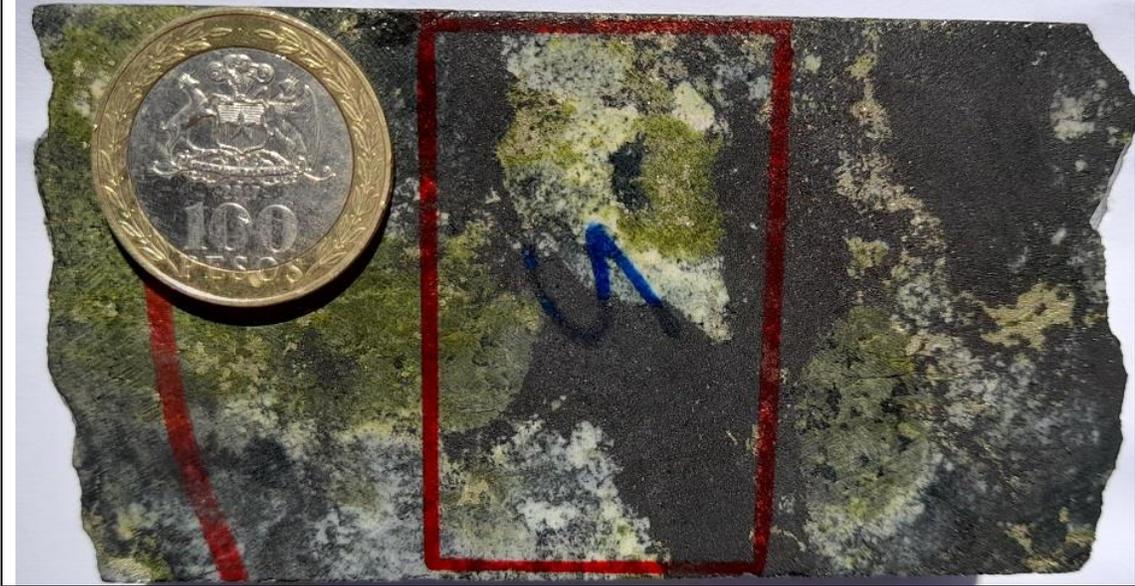
18GR17 M31 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

La roca de caja no posee una litología reconocible producto de las alteraciones masivas, empezando por el feldespato potásico, seguido por las epidotas y después por cristales de piroxeno que las interceptan. En los eventos mineralizadores posteriores se contempla a la magnetita II diseminada y a esta le sigue una mineralización de calcopirita muy leve, concluyendo con piritas interceptando a la roca y sus alteraciones.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Epidota	20	Pistacitas y zoisitas dispersas por la muestra.
	Piroxeno	10	Cristales subhedrales de hasta 0.7 mm que interceptan el feldespato potásico.
	Feldespato potásico	30	Alteración diseminada, la cual es interceptada por las menas y los cristales de piroxeno.
Mena/Ganga	Calcopirita	1	Mineralización muy escasa.
	Pirita	14	Intercepta a la magnetita II.
	Magnetita II	25	Mineralización diseminada.

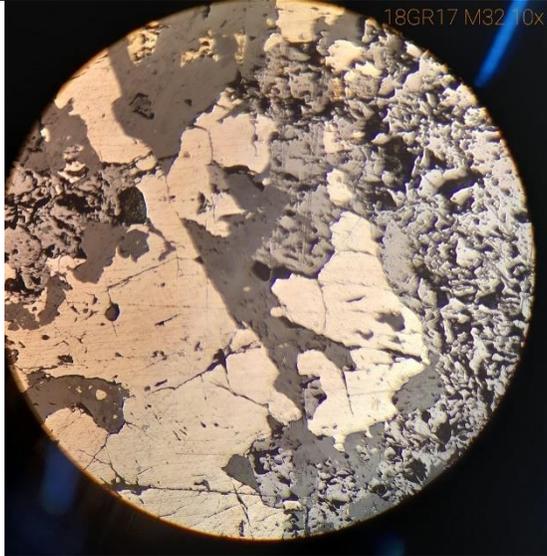
Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

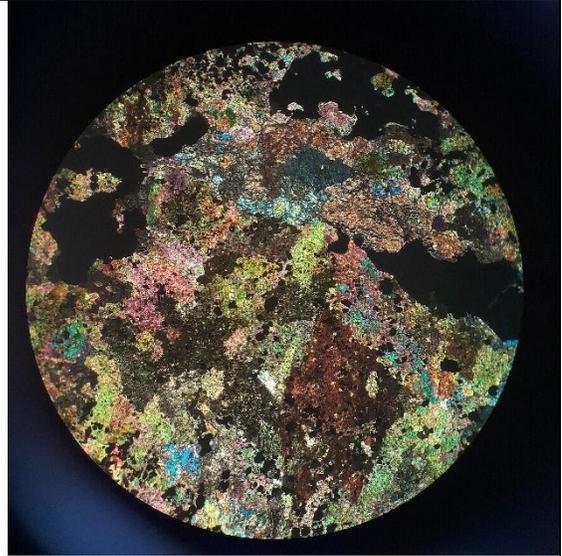
Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Feldespato potásico
- 3) Epidota
- 4) Piroxeno
- 5) Magnetita II
- 6) Calcopirita
- 7) Pirita

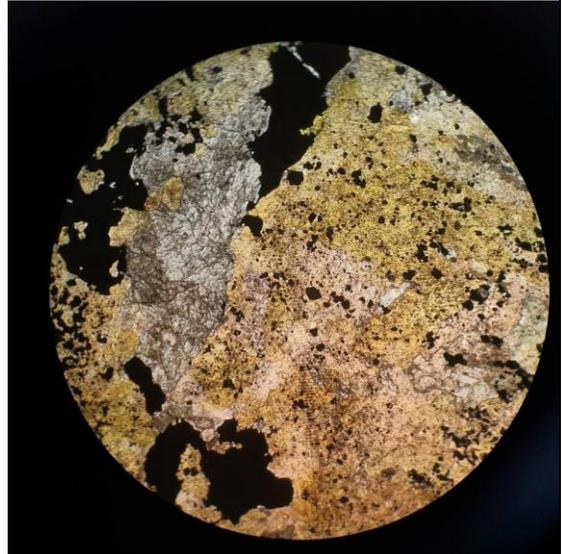
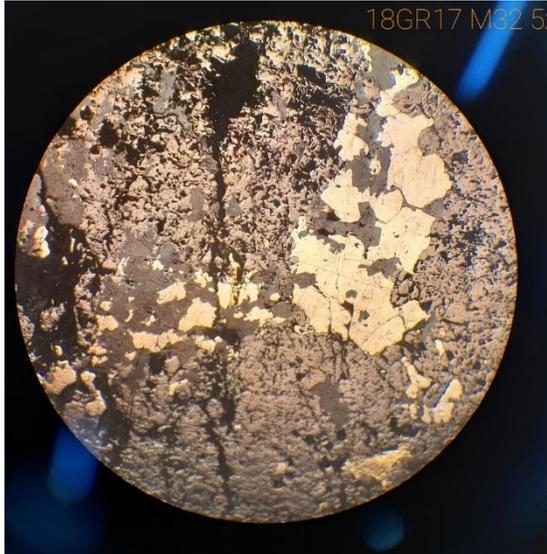
Microfotografías sección pulida



Microfotografías sección transparente



18GR17 M32 5x

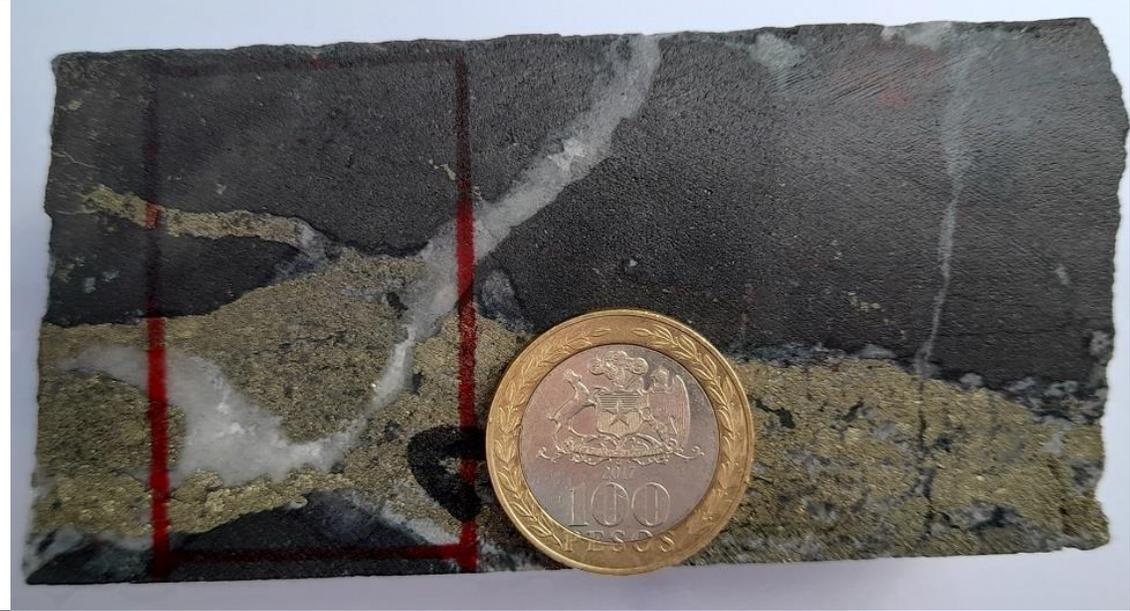


Sondaje	DDH18-TN-20	Muestra	M3
---------	-------------	---------	----

Observaciones macroscópicas / microscópicas

Una roca de caja la cual recibe una mineralización leve de magnetita II que se disemina por la muestra, seguido por una peculiar estructura compuesta por pirita, cuarzo secundario y calcita, la que genera vetillas que fracturan la muestra.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	30	Posible asociación con el cuarzo secundario y la pirita.
	Sílice	40	Posible asociación con la calcita y la pirita.
Mena/Ganga	Magnetita II	3	Mineralización diseminada por la roca de caja.
	Pirita	27	Mineralización que está posiblemente asociada a un evento junto con el cuarzo secundario y la calcita.

Vetillas y microtexturas

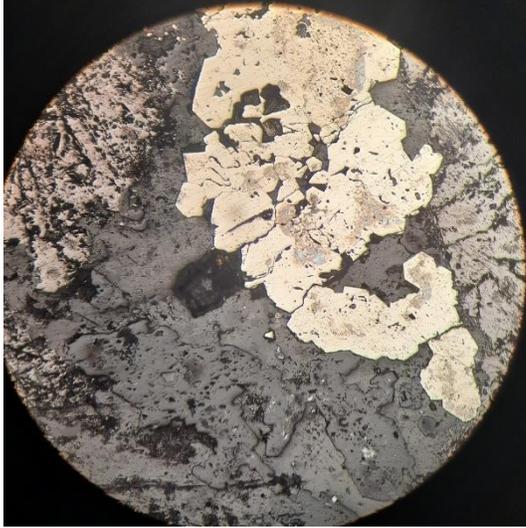
Vetilla – Asociación de pirita y calcita, con bifurcaciones y un espesor máximo de 25 mm.

Relaciones cronológicas

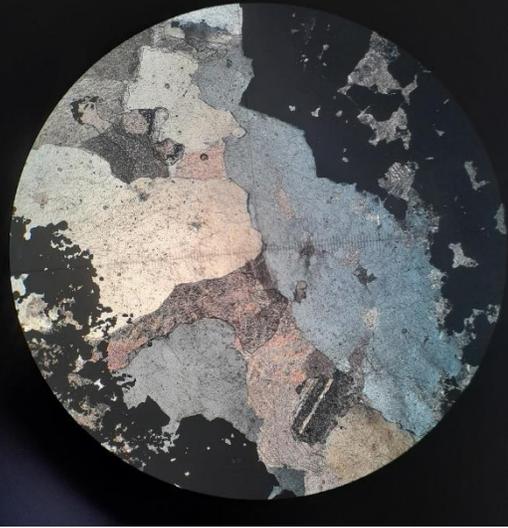
- 1) Roca de caja
- 2) Magnetita II
- 3) Pirita + Sílice + Calcita

Microfotografías sección pulida

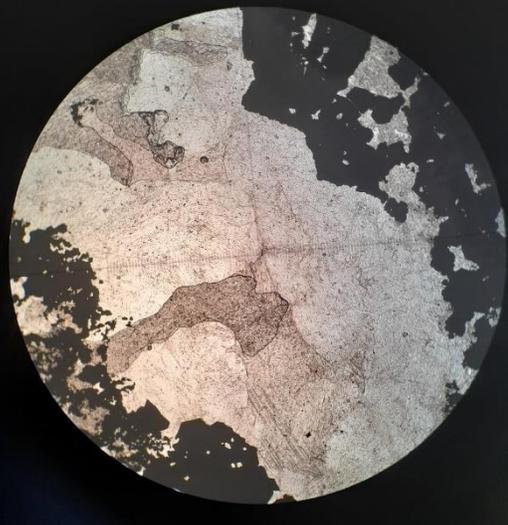
18TN20 M3 10x



Microfotografías sección transparente



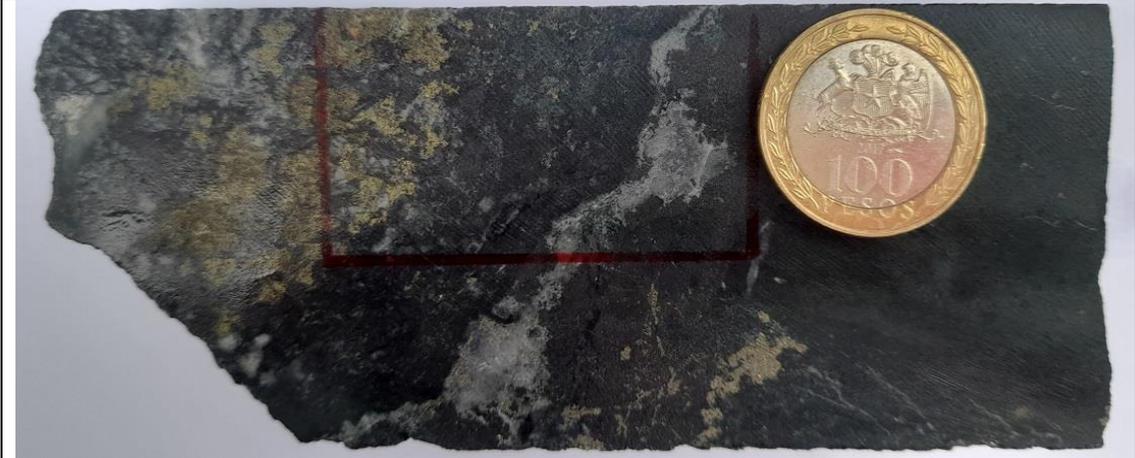
18TN20 M3 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja con una alteración intensa de clorita y que luego es interceptada por cristales de cuarzo secundario, apareciendo posteriormente un evento mineralizador de magnetita II diseminada, a la cual le sigue una mineralización de calcopirita y otra de pirita que la intercepta. Una alteración de calcita irrumpe en la roca alterada y mineralizada, terminando con una transformación del óxido de hierro en mushketovita que la intercepta también.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Clorita I	40	Alteración de intensidad moderada, interceptada por las menas.
	Calcita	20	Cristales subhedrales interceptados por la mushketovita.
	Sílice	15	Cristales anhedrales de entre 0.5 a 2.0 mm, interceptados por mushketovita.
Mena/Ganga	Calcopirita	5	Mineralización que es interceptada por la pirita y la mushketovita.
	Pirita	5	Mineralización que intercepta a la calcopirita.
	Magnetita II	10	Mineralización diseminada por la roca alterada.
	Mushketovita	5	Mineralización que intercepta a la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

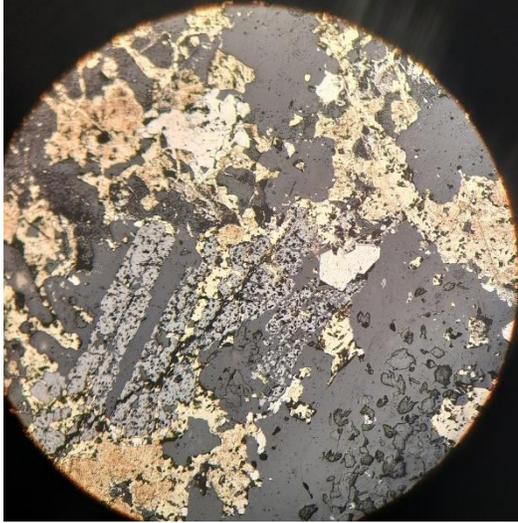
Vetilla – Relleno de calcita, sinuoso, con un espesor máximo de 10 mm.

Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Magnetita II
- 5) Calcopirita
- 6) Pirita
- 7) Calcita
- 8) Mushketovita

Microfotografías sección pulida

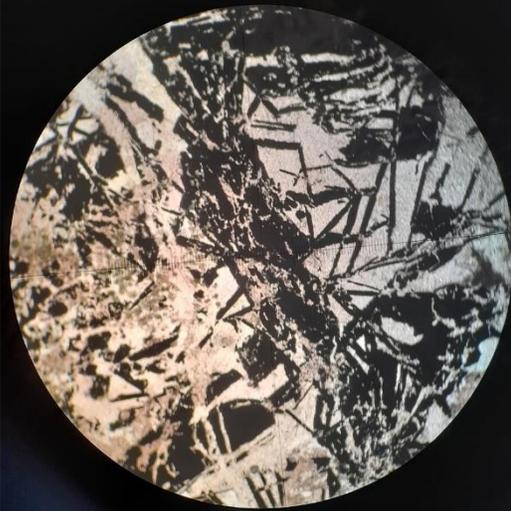
18TN20 M4 10x



Microfotografías sección transparente



18TN20 M4 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja con una alteración intensa de clorita con cuarzo secundario posterior, la cual es afectada por un evento mineralizador de calcopirita y luego por pirita que se manifiesta tanto diseminada como en una vetilla. A estos eventos se suma la irrupción de calcita en forma de vetilla sinuosa y también diseminado en la roca, concluyendo con mineralización de mushketovita que la intercepta por completo.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	15	Vetilla sinuosa de 2 mm de espesor, interceptando menas y cristales diseminados que son interceptados por la mushketovita.
	Sílice	10	Cristales diseminados interceptados por las menas.
	Clorita I	15	Alteración diseminada e interceptada por las menas.
Mena/Ganga	Calcopirita	5	Mineralización escasa que es interceptada por las piritas.
	Pirita	5	Se manifiesta como vetilla y algunos cristales diseminados.
	Mushketovita	50	Cristales dispersos en la roca.

Vetillas y microtexturas

Vetilla (Calcita) – Sinuosa, de un espesor de 2 mm, interceptada por la vetilla de calcita.

Vetilla (Pirita) – Con un espesor de 2 mm, intercepta a la vetilla de pirita

Relaciones cronológicas

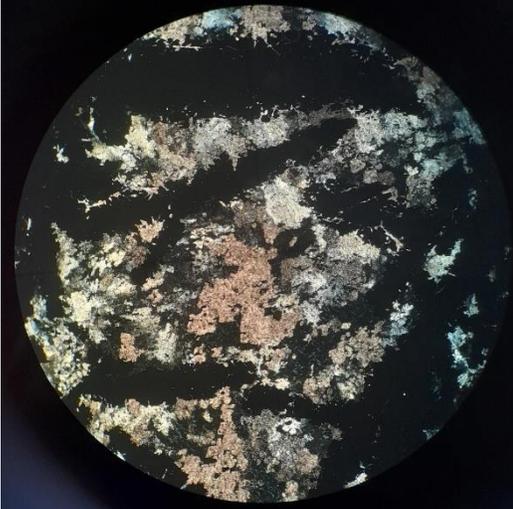
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Calcopirita
- 5) Pirita
- 6) Calcita
- 7) Mushketovita

Microfotografías sección pulida

18TN20 M5 10x



Microfotografías sección transparente



18TN20 M5 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Una roca de caja que es afectada por una alteración intensa de clorita diseminada junto con la posterior intrusión de cuarzo secundario. Un evento mineralizador de magnetita II se disemina por la muestra y resulta interceptada por la pirita que aparece como una vetilla principal y diseminado por los alrededores.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	20	Forma una especie de masa fundamental junto con el cuarzo secundario.
	Sílice	15	Forma una especie de masa fundamental junto con la calcita.
	Clorita I	35	Alteración diseminada en toda la muestra, interceptada por las menas.
Mena/Ganga	Magnetita II	3	Mineralización dispersa en la roca.
	Pirita	27	Mineralización en forma de veta y cristales diseminados.

Vetillas y microtexturas

Vetilla – Mineralización de calcopirita y pirita, con un espesor de 14 mm.

Relaciones cronológicas

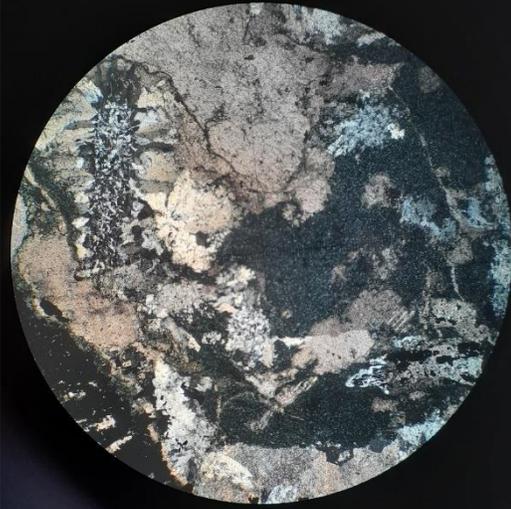
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Magnetita II
- 5) Pirita
- 6) Calcita

Microfotografías sección pulida

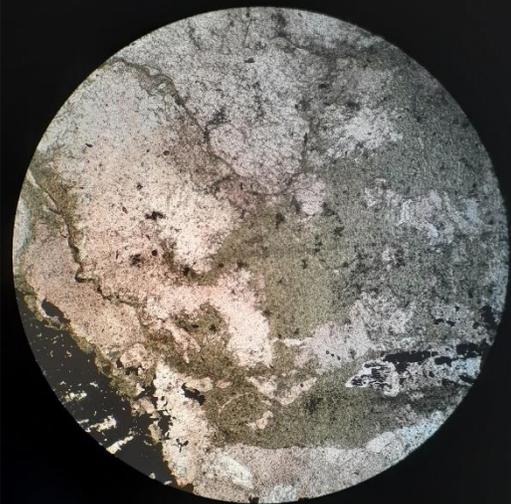
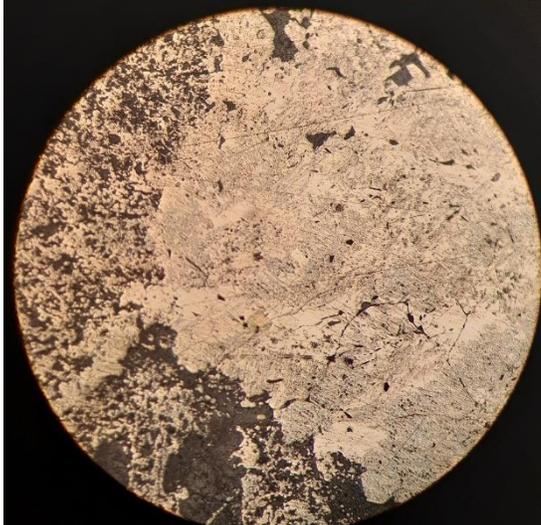
18TN20 M12 5x



Microfotografías sección transparente



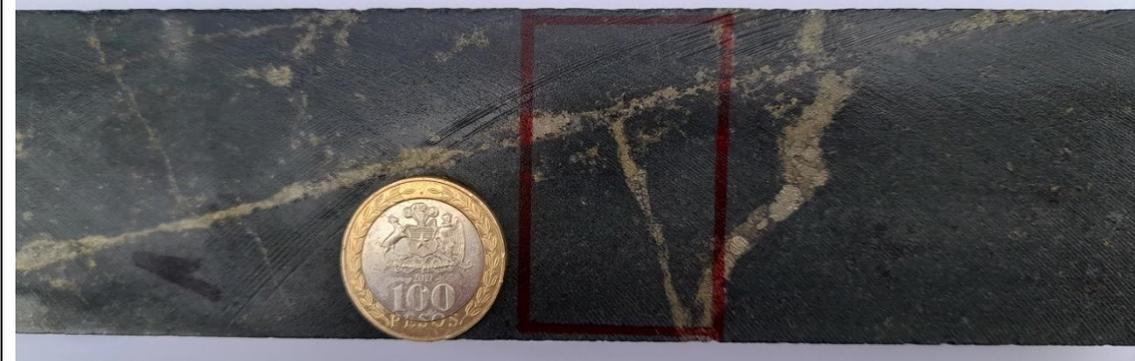
18TN20 M12 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja con una alteración muy intensa de clorita, siendo afectada en su totalidad, con una posterior intrusión de cuarzo secundario escaso. En la mineralización se introduce una mineralización muy leve de magnetita II, además de la llegada de vetillas de pirita que la interceptan, dejando al final un evento mineralizador de calcopirita escasa.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Sílice	10	Cristales de hasta 1 mm que están diseminadas e interceptadas por las menas.
	Clorita I	80	Alteración masiva, interceptada por el cuarzo secundario y las menas.
Mena/Ganga	Calcopirita	4	Mineralización que intercepta a la pirita.
	Pirita	5	Mineralización en forma de vetillas.
	Magnetita II	1	Mineralización muy escasa y diseminada en la roca.

Vetillas y microtexturas

Vetillas – Múltiples, rellenas con pirita, de un espesor de entre 2 a 6 mm.
 Falla – Una vetilla de pirita genera una separación de una vetilla de menor espesor.

Relaciones cronológicas

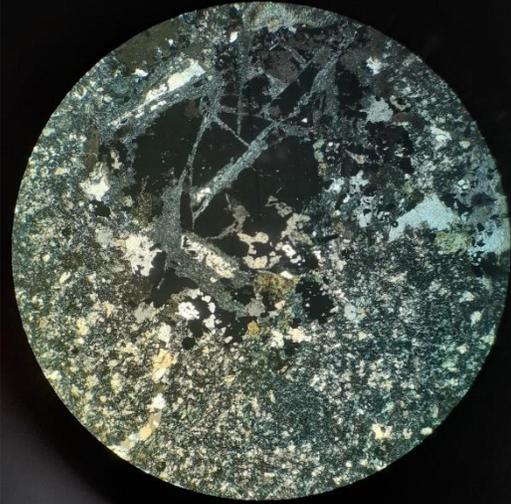
- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Magnetita II
- 5) Pirita
- 6) Calcopirita

Microfotografías sección pulida

18TN20 M15 5x



Microfotografías sección transparente



18TN20 M15 5x



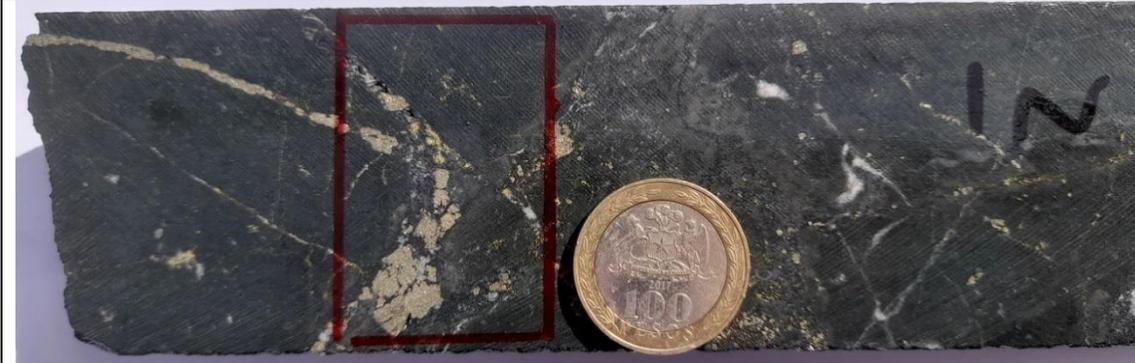
18TN20 M15 lpp



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja con una alteración moderada de epidotas, la que le siguen cristales de cuarzo secundario. Un evento mineralizador de calcopirita escasa se introduce en la roca y es interceptada después por cristales de mushketovita. Aquellos óxidos de hierro son interceptados por cristales subhedrales de pirita, concluyendo con la llegada de calcita en vetillas que se introducen en la roca alterada.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Calcita	5	Cristales diseminados que son interceptados por las menas.
	Sílice	40	Cristales diseminados y vetillas de hasta 0.1 mm de espesor.
	Epidota	35	Alteración diseminada e interceptada por las menas.
Mena/Ganga	Calcopirita	3	Mineralización que es interceptada por la mushketovita.
	Pirita	13	Mineralización de cristales subhedrales que intercepta a la mushketovita.
	Mushketovita	4	Mineralización escasa que es interceptada por piritas.

Vetillas y microtexturas

Vetillas (pirita) – Múltiples, interceptándose entre ellas, con un espesor de entre 2 a 10 mm.

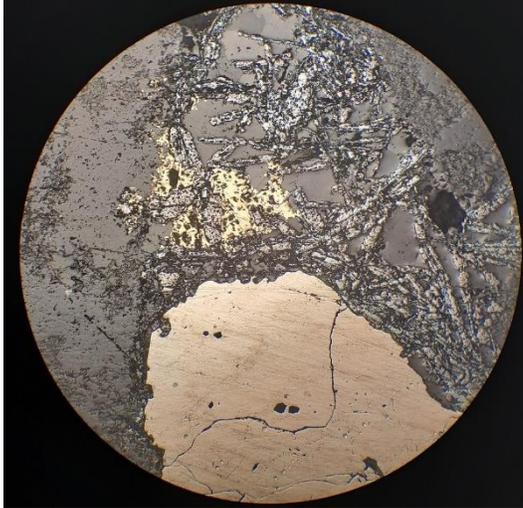
Vetillas (calcita) – Múltiples, interceptándose entre ellas, de espesor menor a 1 mm.

Relaciones cronológicas

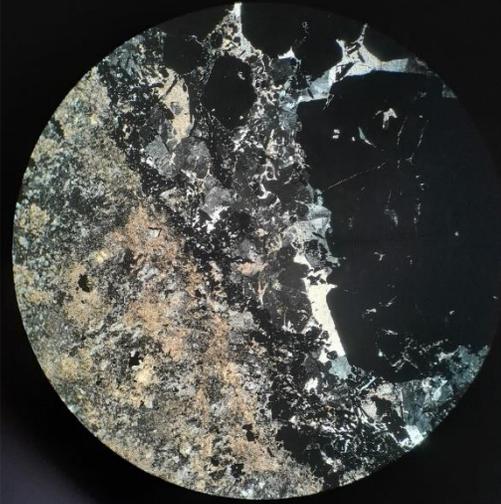
- 1) Roca de caja
- 2) Epidota
- 3) Sílice
- 4) Calcopirita
- 5) Pirita
- 6) Calcita
- 7) Mushketovita

Microfotografías sección pulida

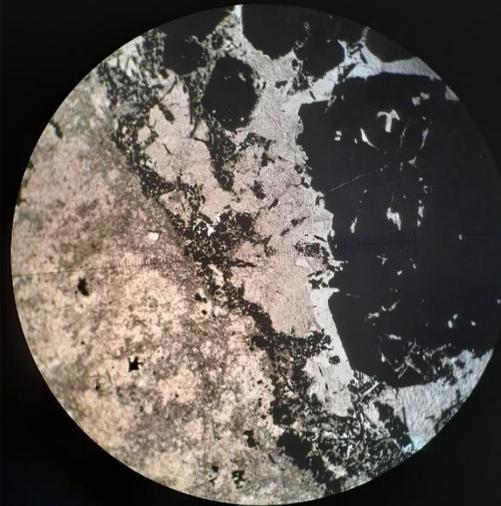
18TN20 M21 5x



Microfotografías sección transparente



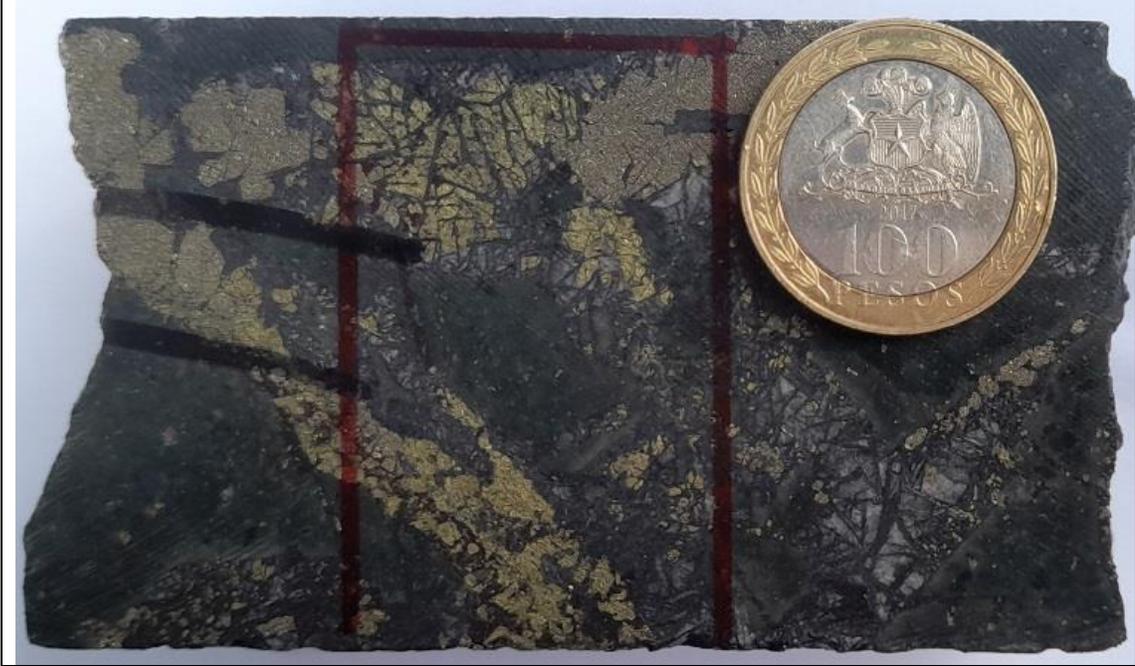
18TN20 M21 10x



Observaciones macroscópicas / microscópicas

Roca de caja a la cual se introduce una alteración débil de clorita, seguido por los cristales de cuarzo secundario que son afectados por un evento mineralizador de calcopirita y luego otro de pirita. Una alteración de calcita llega a introducirse tanto en la roca como en las menas y concluyendo con los eventos de mineralización, cristales de mushketovita aparecen para interceptar a las mineralizaciones y las alteraciones en la muestra.

Fotografía de corte (aspecto general)



	Minerales	%	Características/ modo de ocurrencia
Roca de caja	-	-	No reconocible por las alteraciones y las mineralizaciones.
Alteración	Clorita I	20	Alteración de intensidad débil.
	Calcita	20	Relleno de intersticios entre mushketovitas.
	Sílice	10	Cristales muy finos que están diseminados en la roca.
Mena/Ganga	Calcopirita	20	Mineralización interceptada por la pirita y la mushketovita
	Pirita	10	Mineralización que es interceptado por la mushketovita.
	Mushketovita	20	Mineralización que intercepta a la pirita y a la calcopirita.

Vetillas y microtexturas

No se reconocen vetillas o microtexturas.

Relaciones cronológicas

- 1) Roca de caja
- 2) Clorita I
- 3) Sílice
- 4) Calcopirita
- 5) Pirita
- 6) Calcita
- 7) Mushketovita

Microfotografías sección pulida

18TN20 M22 5x



Microfotografías sección transparente



18TN20 M22 5x

