



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**DOCUMENTOS SOBRE INCLUSIONES FLUIDAS X:
EXPLORACIÓN DE VETAS CUARZO - ORO EN PROYECTO JOY, DISTRITO
HUALAÑÉ-LICANTÉN, REGIÓN DEL MAULE, CHILE.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO
MARTÍN EDUARDO CERDA NÚÑEZ**

**PROFESOR GÚIA:
JORGE DANIEL MONCADA DE LA ROSA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
GREGORY DE PASCALE
MICHAEL COREY**

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Geólogo

POR: Martín Cerda Núñez.

FECHA: 05-04-2020

PROF. GUÍA: Daniel Moncada, PhD.

“DOCUMENTOS SOBRE INCLUSIONES FLUIDAS X: EXPLORACIÓN DE VETAS CUARZO - ORO EN PROYECTO JOY, DISTRITO HUALAÑÉ-LICANTÉN, REGIÓN DEL MAULE, CHILE.”

Los depósitos *orogénicos* se forman en ambientes compresivos a transpresivos en márgenes de placas activos, asociados a cinturones metamórficos producidos en procesos de acreción y colisión de placas. Estos depósitos se caracterizan por poseer cantidades importantes de metales preciosos, bajo contenido de sulfuros, mineralogía de ganga compuesta principalmente por cuarzo y carbonatos en sistemas de vetas con un fuerte control estructural.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo principal determinar las zonas con mayor potencial económico en el Proyecto Joy, ubicado en la VII Región del Maule, el cual cumple con las características de un depósito orogénico. Para esto se contempla un trabajo en terreno con el fin de caracterizar geológicamente el depósito y, posteriormente, un estudio de petrográfico y de inclusiones fluidas.

El depósito se compone de un sistema de vetas de cuarzo hospedadas en un cuerpo intrusivo granítico de dimensiones batolíticas. En lo que respecta a alteración, se observó la asociación cuarzo – sericita – pirita. La mineralización metálica es escasa y se caracteriza principalmente de pirita, electrum, arsenopirita, esfalerita y galena, con porcentajes que no superan el 3%. Esta se observa diseminada entre los cristales de cuarzo. Por otro lado, en las zonas más expuestas se pueden observar limonitas y hematita tanto en vetillas como también diseminadas en las vetas de cuarzo.

La petrografía de inclusiones fluidas mostró arreglos de inclusiones primarias ricas en CO₂, ricas en líquido y arreglos con inclusiones ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor, indicadoras de procesos de ebullición. Todas las inclusiones estudiadas se hospedan en cristales de cuarzo. Por su parte, las texturas observadas son cuarzo euedral, jigsaw y faethery, asociadas a un evento mineralizador y con evidencias de ebullición en sus inclusiones. En esta línea, también se observó cuarzo peineta como textura estéril en el sistema, rellenando fracturas y espacios abiertos en una etapa tardía post mineralización.

Las presiones obtenidas en la espectroscopía Raman, las evidencias de ebullición y las características estructurales del depósito, sugieren que existieron fluctuaciones cíclicas en la presión de fluido que desencadenaron procesos de ebullición y precipitación de metales preciosos. Por último, se tiene que las profundidades mínimas estimadas, que van entre 1.2 a 3.2 km, indicarían que la porción del sistema en estudio correspondería a la parte superior de un depósito orogénico, hecho prometedor para la industria minera ya que podrían encontrarse zonas de bonanza y con continuidad en profundidad por decenas e incluso centenas de metros.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre por su amor y apoyo incondicional, tanto en tiempos fáciles como en tiempos difíciles, gran parte de esto es gracias a usted y siempre se lo agradeceré. A mi padre, por entregarme siempre su sabio consejo y empuje para seguir adelante, especialmente cuando las cosas se ponían cuesta arriba. A mi gran familia que siempre estuvo a mi lado, especialmente mis abuelas y abuelos, que desde niño me han apoyado hasta el cansancio e incluso más. Gracias eternas.

Gracias a mi profesor guía, Daniel Moncada, por tener la paciencia y disposición. A mi profe co-guía Brian, quien siempre me recibió y aconsejó tanto en lo académico como en lo personal. A Philippe Robidoux, por la ayuda y eternas horas en el Raman. A Blanca, por su amabilidad. A la gente de los laboratorios y terrenos: Julio, Roberto y Marco Vacaris, son unos grandes. FONDECYT 11170210 y FONDEQUIP EQM170103.

Gracias a Mike Corey y Pat Burns por darme la confianza de trabajar con ustedes tanto en Hualañé como en los otros proyectos, fueron muy buenas experiencias que no olvidaré. Gracias a la gente de Hualañé, a Diana y familia, por su hospitalidad y simpatía en todo momento; a Patricio Carrión y familia, las campañas y buenos momentos fueron increíbles. Mucho que agradecer en esa comuna.

Gracias a mis amigxs y seres queridxs. La gente del handball, los de Beauchef y los de la U, aguante la Combo 619, campeones nacionales, TIF y JOE también contribuyeron de gran manera en este camino. Gracias a Javi, quién me ayudó, aconsejó y acompañó en gran parte del proceso. Gracias a mis amigxs de geo, por su buena vibra y apañe en todo momento. Gracias a los malditos SEDEX, que no merecen más palabras sólo por ser SEDEX. Gracias a la gente de la Sección 4. Gracias a mis amigos del colegio y la vida, muchas personas por nombrar que en mi mente estarán, viajes, terrenos, partidos, carretes, momentos que jamás olvidaré y ciertamente me ayudaron a caminar en este sendero.

Por último, y no menos importante, agradecer a las fuerzas de la luz que más de una vez escucharon nuestras plegarias en momentos difíciles y nuestros agradecimientos en tiempos amables. Gracias también a las fuerzas oscuras, que no podemos observar, pero sabemos que ahí están, gracias por guiar mi camino, muchas veces entre tinieblas. Gracias al universo por haberme dado la oportunidad de vivir esta hermosa experiencia.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
1.1 Formulación del estudio.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Hipótesis de trabajo.....	2
1.4 Ubicación, accesibilidad y fisiografía.....	2
2. Marco Teórico.....	4
2.1 Depósitos Mesotermales.....	4
2.2 Depósitos Orogénicos.....	4
2.3 Solubilidad del oro en ambientes mesotermales.....	7
2.4 Solubilidad del CO ₂ en ambientes mesotermales.....	9
2.5 Origen del CO ₂ en depósitos orogénicos.....	13
2.6 Inclusiones Fluidas.....	14
3. Marco Geológico.....	17
3.1 Geología Regional.....	17
3.2 Geología Distrital.....	19
3.3 Geología Estructural.....	21
3.4 Ambiente Metalogénico y Yacimientos Existentes.....	23
4. Metodología.....	25
4.1 Trabajo en terreno.....	25
4.2 Petrografía macroscópica.....	25
4.3 Mini-stage.....	25
4.4 Preparación de cortes transparente rápidos ‘quick-plates’.....	26
4.5 Petrografía microscópica.....	27
4.6 Raman.....	28
5. Geología del proyecto y resultados.....	29
5.1 Caracterización macroscópica del prospecto.....	29
5.2 Mini-stage.....	34
5.3 Petrografía.....	35
5.4 Petrografía de inclusiones fluidas.....	42
5.5 Raman.....	47
6. Discusiones.....	49
6.1 Evidencias en terreno.....	49
6.2 Petrografía y paragénesis.....	49
.....	53

6.3	Evolución y caracterización del fluido.	54
6.4	Implicancias para la exploración	57
7.	Conclusiones	61
8.	Bibliografía.....	63
9.	Anexo A.....	69
10.	Anexo B.....	70
11.	Anexo C.....	90
12.	Anexo D.....	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Proyecto Joy. Con rojo oscuro se marca la ruta principal que conecta Curicó con Iloca, mientras que con rojo claro rutas secundarias.	3
Figura 2. Configuraciones tectónicas en las que se pueden formar depósitos orogénicos y de otros depósitos de oro. Tomado de Groves et al. (1998).	5
Figura 3. Representación esquemática de zonas corticales de depósitos hidrotermales en términos de la profundidad de formación y configuración estructural dentro de un margen de placa convergente. Tomado de Groves et al. (1998), adaptado de Groves (1993), Gebre-Mariam et al. (1995) y Poulsen (1996).	6
Figura 4. Campos de estabilidad para los ligantes de mayor estabilidad del oro en función de la actividad de H ₂ S. Extraído de Mikucki (1998) con información de Zotov et al. (1991), Johnson et al. (1992) Mikucki & Ridley (1993) y Shock & Helgenson (1998).	8
Figura 5. Representación esquemática del diagrama PT del CO ₂ , junto con las transiciones de fase de inclusiones atrapadas en los puntos a, a', a". Las descripciones de cada isocora se encuentran en el texto. Los colores de relleno de las inclusiones: gris oscuro = fase gaseosa, gris claro = fase líquida, blanco = fase sólida. Extraído y modificado de Van den Kerkhof & Thiéry, 2000.	10
Figura 6. Diagrama esquemático del sistema H ₂ O-CO ₂ en función de P-T-X. Se muestra sombreada la porción de alta presión y temperatura de la región de inmiscibilidad y la curva crítica superior. Extraído de Bakker & Diamond (2000).	11
Figura 7. (a) Modelo esquemático P-T-X de las relaciones de fase en el diagrama CO ₂ -H ₂ O. Con gris oscuro se encuentra sombreada la región de inmiscibilidad líquido-líquido. (b) Secciones isotérmicas a través de la región de inmiscibilidad para las temperaturas T ₁ -T ₄ señaladas en (a). Extraído de Diamond (2000).	12
Figura 8. Inclusiones primarias (p), secundarias (s), pseudosecundarias (ps). Extraído y modificado de Goldstein (2003).	15
Figura 9. Tipos de inclusiones propuestos por Nash (1976). Las Tipo 1 corresponden a inclusiones en que predomina la fase líquida sobre la fase vapor; las Tipo 2, a inclusiones en las que predomina la fase vapor sobre la fase líquida; las Tipo 3, inclusiones con fase líquida, vapor y sólidos, y las Tipo 4, a inclusiones con fase CO ₂ vapor, líquido y H ₂ O líquido... ..	16
Figura 10. Mapa con las principales unidades morfoestructurales que se encuentran en Chile central. El recuadro negro señala la zona de estudio (Tapia, 2010).	17
Figura 11. Mapa geológico de la Cordillera de la Costa en la porción del área de estudio. El recuadro negro muestra el área de estudio. SERNAGEOMIN (2003).	19
Figura 12. Cuadro de las formaciones del área de estudio, se señalan sus edades y distribución con respecto al río Mataquito. Extraído de Thiele & Morel (1981).	21
Figura 13. Mini – stage confeccionado en las dependencias de la Universidad de Chile. Herramienta útil para verificar en terreno la presencia de CO ₂ en cristales de cuarzo. ..	26
Figura 14. Espectroscopio Raman, ubicado en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. En A se observa el Raman en reposo o desuso, mientras que en B se observa funcionando.	28
Figura 15. Representación de la información estructural de las vetas de cuarzo. (A) Roseta con rumbo de las vetas, (B) Red estereográfica con planos de las vetas de cuarzo y (C) Red estereográfica con planos de las vetas de cuarzo.	29
Figura 16. Mapa geológico del área de estudio. Se marcan con amarillos las vetas hospedadas casi completamente en el cuerpo intrusivo. Confeccionado por autor.	31

Figura 17. Muestra 3D6P69 de vetillas de cuarzo hospedadas en el cuerpo intrusivo. La roca caja posee tonos verdosos debido a la presencia de abundante sericita con esos tonos. También se pueden observar cristales milimétricos de pirita euhedrales a subhedrales.	32
Figura 18. Muestra Lava 34 de la unidad volcánica que se encuentra en contacto con el cuerpo intrusivo. La muestra posee una fuerte epidotización y abundantes vetillas de cuarzo. .	33
Figura 19. Muestra de veta de cuarzo lechoso con mineralización de galena y óxidos de hierro.	33
Figura 20. Fotografía de muestras VA-04 con mineralización de oro/electrum en vetas de cuarzo. En A se observa electrum diseminado entre cristales euhedrales a subhedrales de cuarzo, mientras que en B el electrum se asocia a óxidos de hierro.	34
Figura 21. Resultados obtenidos con el mini-stage, en donde un total de 22 muestras presentaron evidencias de burbujas de CO ₂ en la glicerina.	34
Figura 22. Cortes transparentes del intrusivo que hospeda las vetas de cuarzo. Se reconocen cristales de cuarzo en una textura fanerítica con y feldespatos alterados. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	36
Figura 23. Muestra de la unidad volcánica epidotizada. En el centro las imágenes se observa una vetilla de cuarzo, PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	36
Figura 24. En (A) y (B) se muestra la unidad volcánica cloritizada, en la que se aprecian posibles feldespatos que fueron sericitizados. En (C) y (D) se muestran metadominios de clorita. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	37
Figura 25. Muestra de la secuencia sedimentaria siliciclástica que se encuentra en contacto con la unidad volcánica. Se reconocen cristales de cuarzo, feldespatos alterados y micas blancas en una matriz arcillosa. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	38
Figura 26. Textura de cuarzo jigsaw. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	39
Figura 27. Textura de cuarzo euedral. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	39
Figura 28. Textura de cuarzo faethery observado en cristales de cuarzo. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.	40
Figura 29. Cuarzo jigsaw con mineralización de pirita cortando cuarzo euedral. CP: Nícoles cruzados RL: Luz reflejada.	41
Figura 30. Mineralización de electrum diseminado entre cristales de cuarzo euedral. CP: Nícoles cruzados RL: Luz reflejada.	41
Figura 31. Mineralización de electrum diseminado entre óxidos de hierro. CP: Nícoles cruzados RL: Luz reflejada.	42
Figura 32. Arreglo de inclusiones fluidas primarias ricas en líquido en cuarzo euedral.	43
Figura 33. Arreglo de inclusiones fluidas ricas en CO ₂ en (A), mientras que en (B) se muestra una de estas inclusiones con las fases observables: Liquid-CO ₂ , Vapor-CO ₂ y Liquid-H ₂ O ..	44
Figura 34. Arreglo de inclusiones fluidas primarias con coexistencia de inclusiones ricas en líquido e inclusiones ricas en vapor. Se hospedan en cristales de cuarzo euedral y representan procesos de ebullición.	45
Figura 35. Arreglo de inclusiones fluidas secundarias con coexistencia de inclusiones ricas en líquido e inclusiones ricas en vapor. Se hospedan en cristales de cuarzo subedral y representan procesos de ebullición.	45
Figura 36. Arreglo de inclusiones fluidas secundarias ricas en vapor encontradas en cuarzo euedral.	46
Figura 37. Inclusión primaria con presencia de electrum. Se hospeda en cuarzo euedral. PPL: Nícoles Paralelos. RL: Luz reflejada.	46

Figura 38. Espectro característico obtenido en el Raman para una inclusión rica en CO ₂ . Los dos peaks con mayor intensidad corresponden al CO ₂ , mientras que el de mediana intensidad a cuarzo.	47
Figura 39. Cuarzo euhedral a subhedral cortado por vetillas de cuarzo jigsaw. Representan las etapas de mineralización del sistema.	51
Figura 40. Vetillas de óxidos e hidróxidos de hierro cortando cuarzo jigsaw y cuarzo euhedral.	52
Figura 41. Paragénesis mineralógica y textural del sistema de vetas del Proyecto Joy. Se muestra la mineralización de mena y de ganga asociada a cada evento, junto con las texturas de cuarzo e inclusiones fluidas observadas en cada una de estas.	53
Figura 42. Gráfico Densidad versus Presión del fluido obtenido con la espectroscopía Raman.	55
Figura 43. (A) Diagrama de estabilidad para sistema Fe-S-O (línea gruesa), para sulfosales de Sb (línea punteada) y As (línea punteada-punto), para el sistema As-Fe (línea punteada-doble punto) y para el sistema As-S (línea a puntos). (B) Diagrama de estabilidad para el sistema Fe-S-O en línea gruesa, el sistema Cu-Fe-S-O en línea punteada dorada, el sistema Cu-S en línea punteada azul, y el porcentaje de Fe en esfalerita en línea punteada verde. A temperaturas de 250°C y presión de vapor de 40 bar. En rojo, condiciones fisicoquímicas del fluido. Ang: anglesita; gn: galena; ccp: calcopirita; cc: calcosina; cv: covelina; bn: bornita; py: pirita; mag: magnetita; aspy: arsenopirita. Modificado de Barton & Skinner (1979). (C) y (D) Diagramas de estabilidad Eh vs. pH y aO ₂ vs. pH para el sistema Fe-S-O, para el sistema Cu-Fe-S y para contenido de Fe en esfalerita a 250° y presión de vapor = 40 bares (tomado de Barton y Skinner, 1979)	57
Figura 44. Mapa geológico con vetas donde se encontraron evidencias de CO ₂ , de ebullición y de mineralización. Los recuadros en rojo señalan las zonas con mayor potencial del Proyecto Joy, en las cuales se sugiere realizar una campaña de sondajes.	59
Figura 45. Perfil AA' y BB' del Proyecto Joy. Se muestran las principales estructuras mineralizadas, las zonas en donde se sugiere realizar sondajes y su ubicación tentativa.	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados obtenidos en el mini-stage.....	34
Tabla 2. Datos estructurales medidos en terreno.....	69
Tabla 3. Fragmentos y sus características principales.	83

1. Introducción

1.1 Formulación del estudio.

La Cordillera de la Costa de Chile central se caracteriza por poseer numerosos depósitos con importante mineralización metálica, de los cuales se pueden destacar Talca, Mantos de Punitaqui, Las Vacas, Illapel, Pullalli, El Bronce de Petorca, Colliguay, Alhué, Chancón, El Tigre y Las Palmas. Gran parte de estos corresponden a yacimientos mesotermales a epitermales de vetas con mineralización de Au, Cu-Au, Cu y Ag hospedados en rocas volcánicas de las franjas metalogénicas del Cretácico y Jurásico (Maksaev et al., 2007).

Pese a poseer numerosos depósitos y franjas metalogénicas estudiadas, existe en la cordillera de la costa una zona poco explorada y con gran potencial. Esta zona corresponde al Basamento Cristalino (Aguirre, 1965) y comprende dos series metamórficas que se ubican en la zona centro sur de Chile. De acuerdo con el contexto geológico, esta área en particular podría hospedar depósitos de oro orogénico (Groves et al., 1998) u oro asociado a intrusiones IRGD (*Intrusion-Related Gold Deposits*) por su sigla en inglés (Sillitoe, 1991).

En el presente trabajo se realiza un levantamiento de información geológica en superficie de un proyecto *greenfield* ubicado en el Basamento Cristalino antes mencionado. Este se ubica en el distrito minero Hualañé-Licantén, en la Región del Maule, pertenece compañía Veta Resources Spa y, debido principalmente a las altas leyes que se han obtenido mediante análisis geoquímico, posee un gran potencial que no ha sido estudiado en detalle.

Realizar un levantamiento de información detallada es primordial en las fases iniciales de un proyecto de exploración geológica. Conocer la mineralogía de alteración, la roca hospedante, las estructuras y mineralización que puede contener un depósito son características que deben ser estudiadas y comprendidas. Esto con el fin de obtener la mayor cantidad de recuperación económica posible en fases posteriores, siguiendo guías de exploración que sean, dentro de lo posible, las correspondientes al modelo de depósito que se está explorando y explotando.

El objetivo principal del trabajo es determinar las zonas con mayor potencial económico. Para esto se realiza una caracterización petrográfica y textural de las vetas, a escala macroscópica y microscópica, junto con petrografía de inclusiones fluidas en cristales de cuarzo, el principal mineral de ganga del depósito. Este mineral puede ser capaz de dar indicios de procesos formadores como de las variaciones físicoquímicas experimentadas por los fluidos hidrotermales involucrados (Bodnar et al. 1985; Bodnar et al.; 2014; Dong et al, 1995; Sander & Black, 1985). Con esta información, se presenta un estudio geológico-petrográfico acabado del proyecto, el cual busca contribuir en una correcta evaluación geológica-económica de las vetas mineralizadas y determinar, en lo posible, a qué modelo de depósito podría corresponder el caso en estudio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Establecer criterios para exploración en la búsqueda de metales preciosos y determinar las zonas con mayor potencial económico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar geológicamente la zona con base en su litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras.
- Identificar asociaciones minerales, mediante caracterización hidrotermal y mineralización.
- Determinar las fases observables en las inclusiones fluidas, así como tipos de FIAs (*Fluid Inclusions Assemblage*) mediante herramientas petrográficas.
- Identificar y dar un orden relativo a los eventos de intrusión, alteración y deformación que defina la geología del lugar, proponiendo, en lo posible, un modelo de depósito.

1.3 Hipótesis de trabajo

La mineralización, alteración, ubicación y roca hospedante de las vetas reúnen las características para suponer que correspondería a un depósito orogénico, en el cual el principal mecanismo de precipitación de minerales es la ebullición de fluidos hidrotermales. Un estudio de inclusiones fluidas serviría para caracterizar fluidos mineralizadores y establecer criterios de exploración para futuras labores en el Proyecto Joy.

1.4 Ubicación, accesibilidad y fisiografía.

El Proyecto Joy, perteneciente a la compañía de exploraciones canadiense Veta Resources Inc. (Veta o Compañía), está ubicado en la comuna de Hualañé, provincia de Curicó, VII Región del Maule. Se encuentra a una distancia aproximada de 200 kilómetros hacia el suroeste de Santiago y a unos 60 kilómetros Curicó. El área que abarcan las exploraciones en las propiedades de Veta cobre alrededor de 4.160 hectáreas, las que se dividen en Joy West, Joy East y Joy Far East, todas ubicadas al norte de la ribera del río Mataquito. El presente estudio se enfoca en una zona específica delimitada dentro de Joy East.

Con respecto a las macroformas del relieve chileno, el Proyecto Joy se encuentra en la unidad morfo estructural Cordillera de la Costa de Chile central. Específicamente, el área de prospección se ubica en un alto topográfico denominado Cerro el Buitre, con alturas que alcanzan entre 400 y 450 metros sobre el nivel del mar, el cual posee una fuerte pendiente que cae hacia valles modelados por acción fluvial, generando potentes diferencias de altitud, que en algunos casos alcanza hasta 300 metros. En las zonas más altas es posible encontrar afloramientos rocosos, mientras que en las laderas y en los valles la zona se encuentra mayoritariamente cubierta por plantaciones forestales y un potente nivel de suelo, lo que dificulta las labores exploratorias.

Para acceder al Proyecto se debe llegar hasta la comuna de Hualañé por la ruta J-60, que conecta Curicó con el balneario Iloca. Desde Hualañé se continúa por la ruta J-80 hacia Iloca (oeste) aproximadamente 2 kilómetros, hasta el cruce Las Higueras, donde se debe tomar la ruta J-80 hacia el norte, la cual conduce hacia el balneario Llico. Una vez abordada la ruta J-80, se continúa por 8 kilómetros rumbo a Llico hasta encontrarse con una bifurcación con forma de Y, en donde comienza la ruta J-954 hacia la izquierda. Este es el punto más oriental de la zona de estudio y se encuentra dentro de las propiedades de la Compañía. La zona más occidental se encuentra a 3 kilómetros hacia el oeste, siguiendo la ruta J-954 desde la bifurcación antes mencionada.

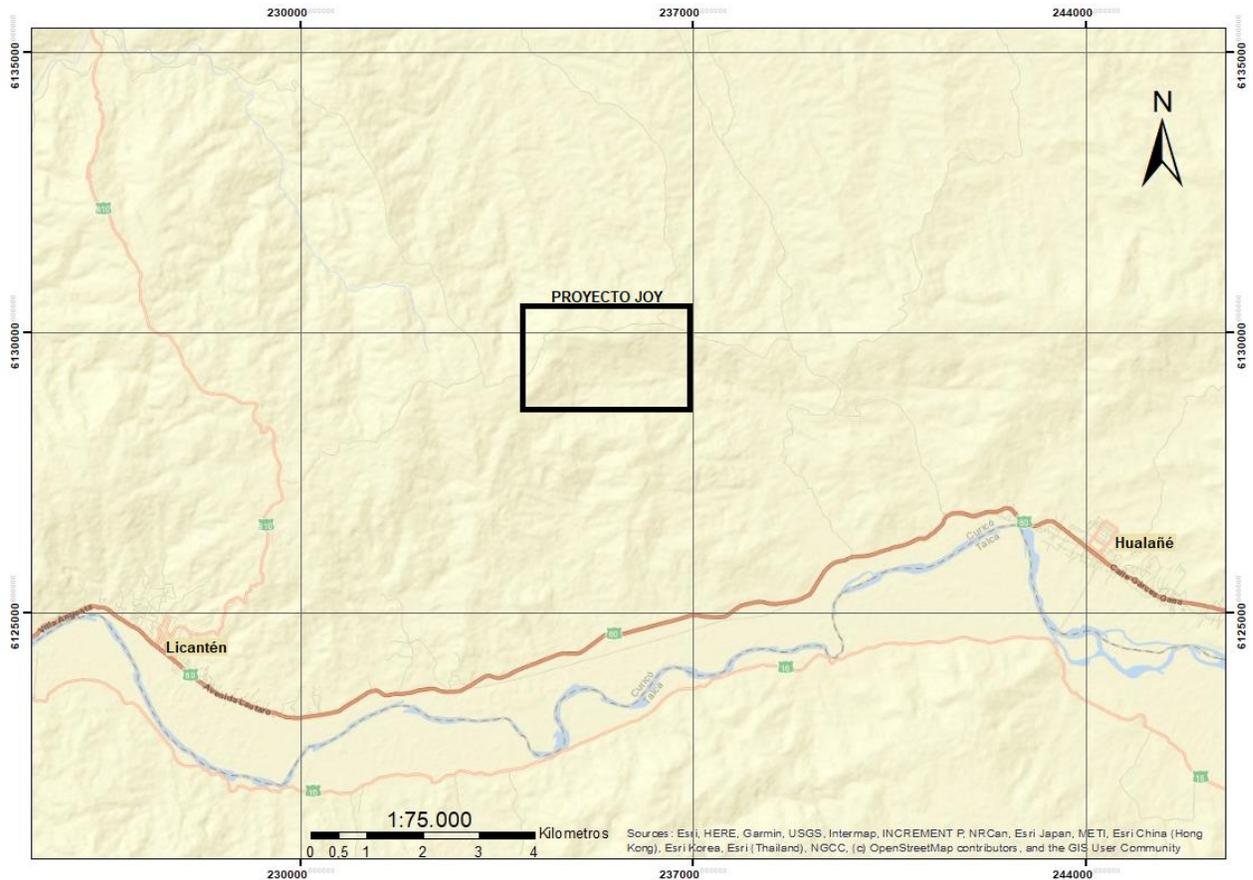


Figura 1. Ubicación del Proyecto Joy. Con rojo oscuro se marca la ruta principal que conecta Curicó con Iloca, mientras que con rojo claro rutas secundarias.

2. Marco Teórico

2.1 Depósitos Mesotermales.

De acuerdo con la profundidad y temperatura a la que se forman, Lindgren (1933) en su obra *Mineral Deposits*, define como depósitos mesotermales a aquellos que se encuentran dentro o cerca de cuerpos intrusivos, formados a altas presiones y temperaturas, bajo una potente cubierta de rocas. Este término reúne una amplia gama de depósitos que cumplen con las características antes mencionadas, siendo Lindgren uno de los primeros en proponerla y utilizarla formalmente.

A lo largo de la historia numerosos autores han estudiado depósitos mesotermales de distintas características (p. ej., Deng et al., 2017; Goldfarb et al., 2001; Grooves et al., 1998; Hedenquist et al., 1998; Lindgren, 1933; Richards et al., 2013; Sillitoe, 1998, 2010). Estos estudios han permitido establecer que no existe un modelo único de depósito mesotermal, ya que es posible encontrar variados factores que influyen en la mineralización y alteración de estos. Dentro de esta clasificación, se pueden encontrar pórfidos, IOCG, brechas, skarns, sistemas vetiformes y depósitos orogénicos, los que se especificarán en la siguiente sección.

Dentro de los factores que favorecen la formación de depósitos mesotermales, se pueden mencionar configuraciones tectónicas de márgenes de placa convergente, arcos oceánicos, arcos continentales y rifts post-colisionales; su asociación con magmatismo calco-alcalino y alcalino; factores estructurales y paleopermeabilidad en controles litológicos (Lindgren, 1933; Groves et al., 1998; Sillitoe et al., 1998, 2010; Richards et al., 2013).

La importancia de estudiar estos depósitos, junto con comprender su evolución y geología, radica en que estos constituyen una fuente importante de metales preciosos, cuyos contenidos pueden llegar a alcanzar valores económicamente rentables. Adicionalmente, depósitos mesotermales como pórfidos pueden ser fuente de subproductos como Mo o W, mientras que los IOCG son una fuente importante de Fe como óxidos de Fe, generando un importante potencial económico como depósitos minerales.

2.2 Depósitos Orogénicos

También conocidos como oro en zona de cizalla, Mother Lode, oro mesotermal y oro metamórfico, son depósitos de oro asociados a cinturones metamórficos profundamente deformados, los cuales varían su grado metamórfico desde esquistos verdes a anfibolitas. Se encuentran asociados a márgenes convergentes de placas, en regímenes compresionales a transpresionales de orógenos colisionales (Groves et al., 1998).

La formación de estos depósitos ha sido sistemática a lo largo de la historia geológica, relacionándose a fajas metamórficas con un amplio rango de edades y, en menor medida, a cuerpos intrusivos que también se emplazan dentro de estos cinturones deformados. Se destacan importantes eventos que han originado depósitos orogénicos,

los cuales ocurrieron entre 2800 y 2550 Ma, y entre 2100 a 1800 Ma (Goldfarb et al., 2001), mientras que también se han datado algunos más recientes ocurridos en el Mesozoico (Groves et al., 1998)

Durante el proceso orogénico, rocas volcánicas y sedimentos marinos hidratados se añaden a márgenes continentales durante decenas a centenas de millones de años de colisión. Eventos termales relacionados a procesos de subducción aumentan los gradientes geotermales dentro de secuencias acrecionadas hidratadas, lo que inicia y facilita la migración de fluidos (Goldfarb et a., 2015).

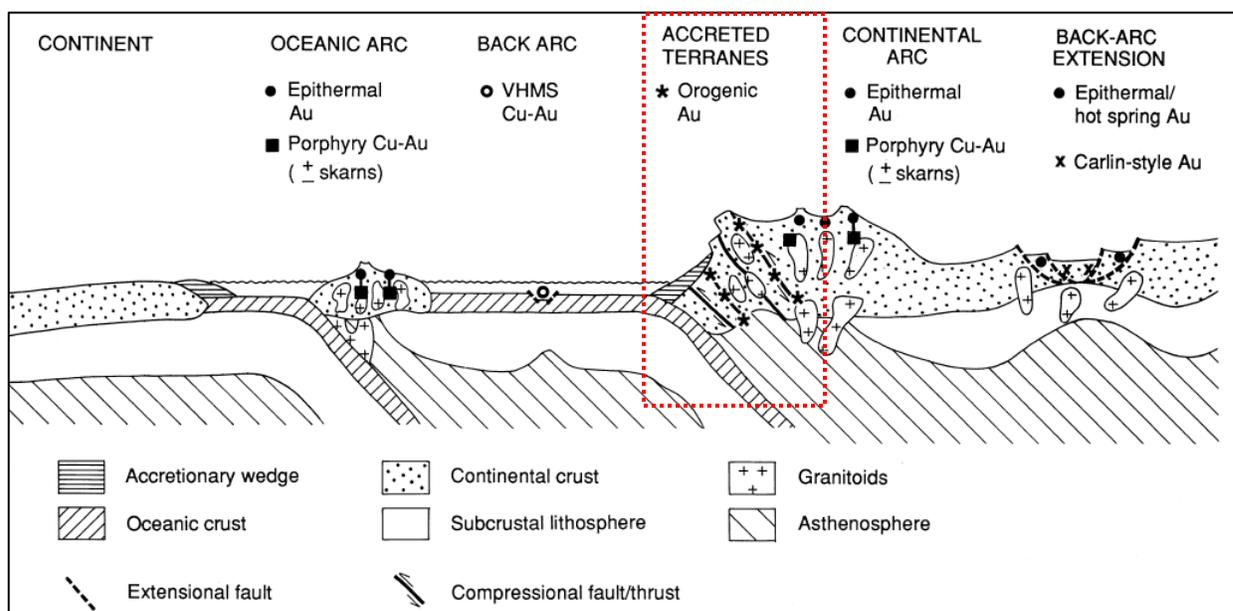


Figura 2. Configuraciones tectónicas en las que se pueden formar depósitos orogénicos y de otros depósitos de oro. Tomado de Groves et al. (1998).

Estos depósitos se caracterizan por sistemas de vetas de cuarzo-carbonatos-oro con menos de 5% de contenido de sulfuros (principalmente de hierro) y menos del 10% de carbonatos. En facies de esquistos verdes también es común encontrar albita, micas blancas, fucsita, clorita, scheelita y turmalina como minerales de ganga en las vetas. Los cuerpos vetiformes poseen una extensión vertical entre 1 y 2 km, sin variar mucho su mineralogía y las leyes de oro. La mineralogía de los sulfuros presentes refleja la geoquímica de la roca caja, en donde la arsenopirita es más común en rocas metasedimentarias, mientras que la pirita y pirrotina son más típicas en rocas metamórficas de protolito ígneo. Por otro lado, pueden presentar un enriquecimiento variable de As, B, Bi, Hg, Sb, Te y W; Cu, Pb y Zn están presentes en concentraciones ligeramente arriba del background (Groves et al., 1998).

Los fluidos formadores de depósitos orogénicos de todas las edades poseen consistencia en su composición química. Son fluidos acuosos-carbónicos, con típicamente 5-20 mol% de CO₂, concentraciones significativas de CH₄ ± N₂, 0.01-0.36 mol% de H₂S, pH neutro a alcalino, alcanzando valores de 5.5 y salinidades bajas, entre un 3 y 7 wt. % NaCl equivalente, con Na>K>Ca,Mg (Goldfarb et al., 2015).

Estudios de Groves (1993), Hagemann et al. (1996) y Ridley et al. (1996), evidencian temperaturas de formación con un rango entre 1800-700°C y presiones < 1-5 kbar, lo que implica una extensión vertical del sistema hidrotermal que se contrasta con otros sistemas ubicados en márgenes continentales, los cuales están restringidos a los 5 km superiores de la corteza. Basándose en lo anterior, Groves et al. (1998) propuso el término orogénico para diferenciarlos de los 'mesotermiales', ya que estos hacen referencia más bien a depósitos emplazados a profundidades entre 2 a 5 km, lo que resulta más aplicable a depósitos tipo Carlin hospedados en rocas sedimentarias o para el ambiente de pórfido (Poulsen, 1996).

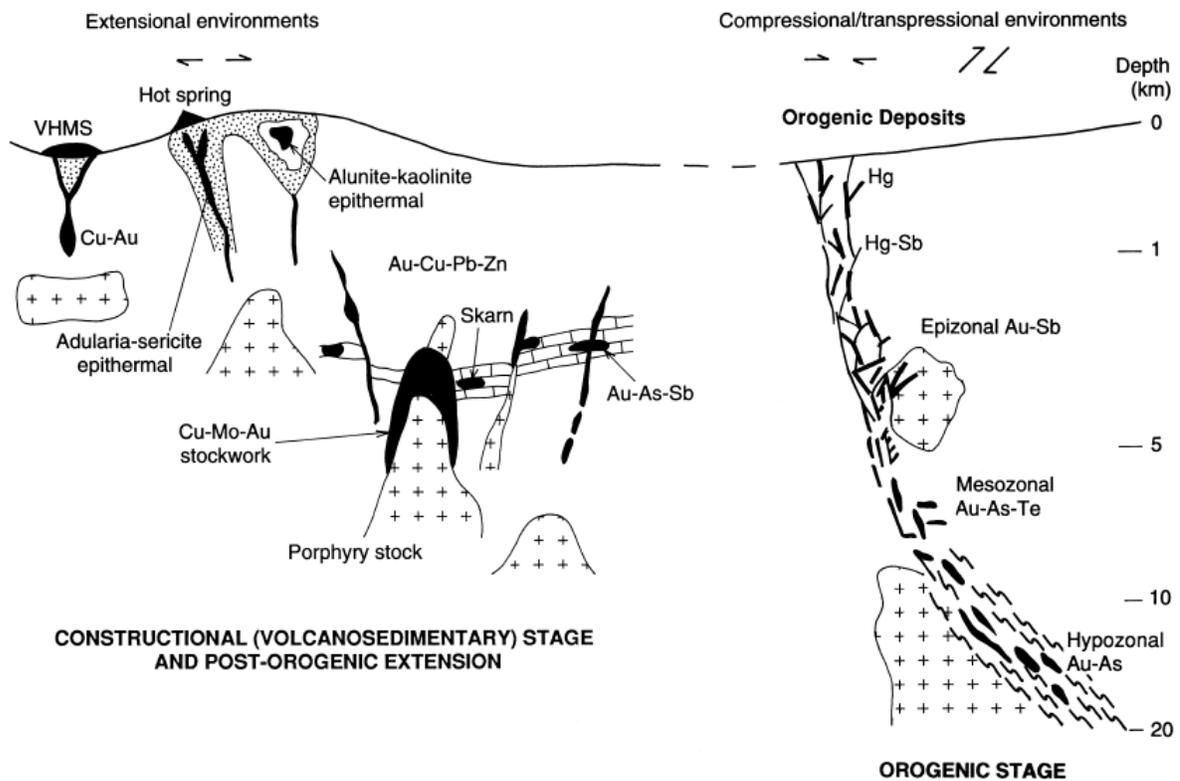


Figura 3. Representación esquemática de zonas corticales de depósitos hidrotermales en términos de la profundidad de formación y configuración estructural dentro de un margen de placa convergente. Tomado de Groves et al. (1998), adaptado de Groves (1993), Gebre-Mariam et al. (1995) y Poulsen (1996).

2.3 Solubilidad del oro en ambientes mesotermales.

En los depósitos de origen hidrotermal, la mineralización precipita a partir de un fluido hidrotermal. Estos fluidos son soluciones multicomponentes electrolíticos encargados de secuestrar y extraer metales, los cuales se transportan como iones complejos. La temporalidad, los estilos de mineralización y las asociaciones minerales que ocurren en el proceso de precipitación están controladas por parámetros termodinámicos como lo son la temperatura (T), actividad y fugacidad de aniones (f_{S_2} , f_{O_2} , a_{S_2} , a_{O_2}), pH Eh, salinidad y composición química del fluido (Seward, 1991; Seward & Barnes, 1997). Por lo anterior, resulta importante comprender y acotar estos parámetros para determinar en qué condiciones se transportó y precipitó la mineralización en el depósito.

En lo que respecta al transporte de oro en sistemas mesotermales y, en específico, para depósitos orogénicos, se tiene que los complejos de oro más importantes son $Au(HS)_2^-$, $Au(HS)^0$, $AuCl_2^-$ y $AuOH$ (Phillips & Groves, 1983; Mikucki & Groves, 1990b, Mikucki, 1998; Stefansson & Steward; 2004, Pokrovski et al., 2014). Cuando las concentraciones de H_2S son medias a moderadas, el complejo $Au(HS)_2^-$ será dominante en pH neutro. Si aumenta la temperatura el campo de estabilidad de esta especie se vuelve más alcalino. Por su parte, el complejo $Au(HS)^0$ es estable a temperaturas menores, pH más ácido y concentraciones menores de H_2S (Mikucki, 1998, Pokrovski et al., 2014).

Contrario a lo que ocurre para sistemas magmáticos hidrotermales, en los sistemas orogénicos el complejo $AuCl_2^-$ reemplaza al $Au(HS)_2^-$ por sobre los $550^\circ C$. Esto debido a que los fluidos hidrotermales poseen bajas cantidades del ligante Cl^- y sobre estas temperaturas incrementa la asociación entre el H^+ y el HS^- para formar H_2S (Mikucki, 1998, Stefansson & Steward, 2004, Pokrovski et al., 2014)

Por último, se tiene que la especie $AuOH$ puede ejercer influencia en el transporte de oro en soluciones muy diluidas a pH ácidos y temperaturas por sobre los $400^\circ C$, cuando las concentraciones de los ligantes mencionados anteriormente sean bajas (Gammons et al., 1997; Stefansson & Steward, 2004))

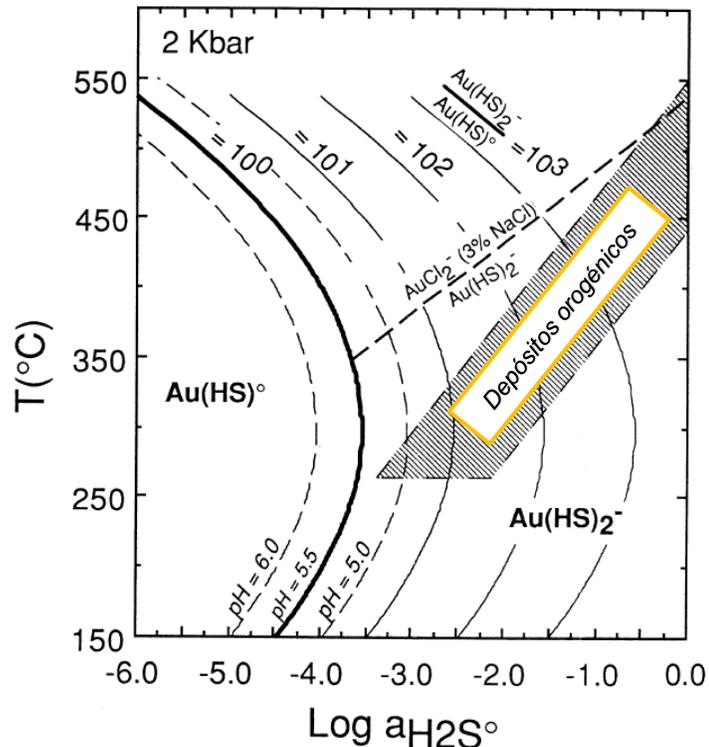


Figura 4. Campos de estabilidad para los ligantes de mayor estabilidad del oro en función de la actividad de H_2S . Extraído de Mikucki (1998) con información de Zotov et al. (1991), Johnson et al. (1992) Mikucki & Ridley (1993) y Shock & Helgenson (1998).

La precipitación del oro desde un fluido hidrotermal ocurre debido a cambios en los parámetros termodinámicos antes mencionados. En un depósito orogénico estos cambios se pueden relacionar a los siguientes procesos geológicos: (1) enfriamiento conductivo y adiabático del fluido mineralizador, (2) interacción entre el fluido y la roca caja que lo rodea, (3) separación de fases debido a una disminución de la presión y (4) mezcla de dos o más fluidos (Mikucki, 1994).

El enfriamiento del fluido mineralizador se propone como un mecanismo poco eficiente para precipitar oro en estos depósitos, con mineralización poco económica distribuida en una extensión vertical poco económica (Phillips & Powell, 1993; Mikucki, 1994). La interacción del fluido con la roca caja se propone como uno de los mecanismos principales de precipitación para un amplio espectro P-T de depósitos orogénicos. Esto debido a que la interacción de fluidos ricos en azufre con el Fe en la roca hospedante desestabiliza el complejo $Au(HS)_2^-$, desencadenando la precipitación del oro (Phillips & Groves, 1983; Groves & Phillips, 1987; Mikucki 1994). Por su parte, la separación de fases no siempre es un mecanismo efectivo de precipitación de oro y dependerá conjuntamente de factores como la variación de pH, cantidad de S, fS y T en el proceso de precipitación del oro (Drummond & Ohmoto, 1985; Mikucki, 1994). Por último, destaca también la presencia de cantidades importantes de oro 'invisible' en la superficie de minerales como la pirita, arsenopirita y lollingita (Cathelineau et al., 1989; Neumayr et al., 1993^a; Mikucki, 1994)

2.4 Solubilidad del CO₂ en ambientes mesotermales.

Las inclusiones fluidas más comunes que se pueden encontrar en las rocas de la corteza se caracterizan por poseer agua, electrolitos y una porción variable de volátiles como CO₂, N₂, CH₄, H₂S (Diamond, 2000). En el caso de los sistemas orogénicos, se tiene que los fluidos mineralizadores poseen elevadas concentraciones de CO₂ (Goldfarb, 2015; Groves, 1998), por lo que resulta primordial comprender el comportamiento de este volátil en los sistemas orogénicos.

Contrario a lo que ocurre con el agua, las inclusiones de dióxido de carbono muestran transiciones entre sus fases siempre a temperaturas menores con respecto a las condiciones geológicas en que se formaron. En un diagrama Presión-Temperatura (PT) que describe el comportamiento del CO₂ (figura 5) se tienen tres curvas univariantes: líquido-gaseoso (LG), sólido-gaseoso (SG) y sólido-líquido (SL). La curva LG termina en el punto crítico del CO₂, en el cual las propiedades del estado líquido y el gaseoso se vuelven iguales (Van den Kerkhof & Thiéry, 2000). En este punto, la densidad del fluido es 0.466 g/cm³.

Las tres curvas de estabilidad (LG, SL, SG) se interceptan en punto invariante denominado punto triple. Esto ocurre a 56.6°C y 5.18 bar y la particularidad de estas condiciones es que se pueden encontrar en coexistencia a las tres fases del CO₂. Por otro lado, la densidad del líquido en el punto triple es 1.17 g/cm³ (Van den Kerkhof & Thiéry, 2000).

En la figura 5 se muestra un diagrama PT con las transiciones de fase y las inclusiones fluidas atrapadas en cada proceso. Si bien, en el próximo capítulo se profundiza con respecto a las inclusiones fluidas, este diagrama PT sirve para comprender el comportamiento del CO₂ y para tener una primera aproximación con las inclusiones fluidas. Una inclusión fluida con una densidad entre 0.466 y 1.17 g/cm³ es atrapada y encerrada bajo las condiciones PT del punto a. En el punto b se alcanzan las condiciones de ebullición, sin embargo, se debe descender la temperatura alrededor de 5°C para que la burbuja nucleee. En este punto, el líquido es metaestable y la isocora 1 se extiende hasta el momento en que ocurre la nucleación, punto c. Luego de la nucleación de la burbuja ocurre un aumento en la presión hasta la curva LG nuevamente. Una inclusión con una densidad menor a 0.466 g/cm³ muestra homegeinización hacia la fase gaseosa (LG -> G), como se muestra en las condiciones señaladas por el punto a'. Por último, se tienen las inclusiones con densidades sobre 1.17 g/cm³, señaladas como a'', las cuales poseen una diferencia con respecto a las descritas anteriormente: la homogenización ocurre siguiendo la extensión metaestable de la isocora, pero bajo el punto triple del diagrama (e) (Van den Kerkhof & Thiéry, 2000). No se presentan los cambios de fase a estado sólido debido a que se alejan de las condiciones geológicas enmarcadas en el presente estudio.

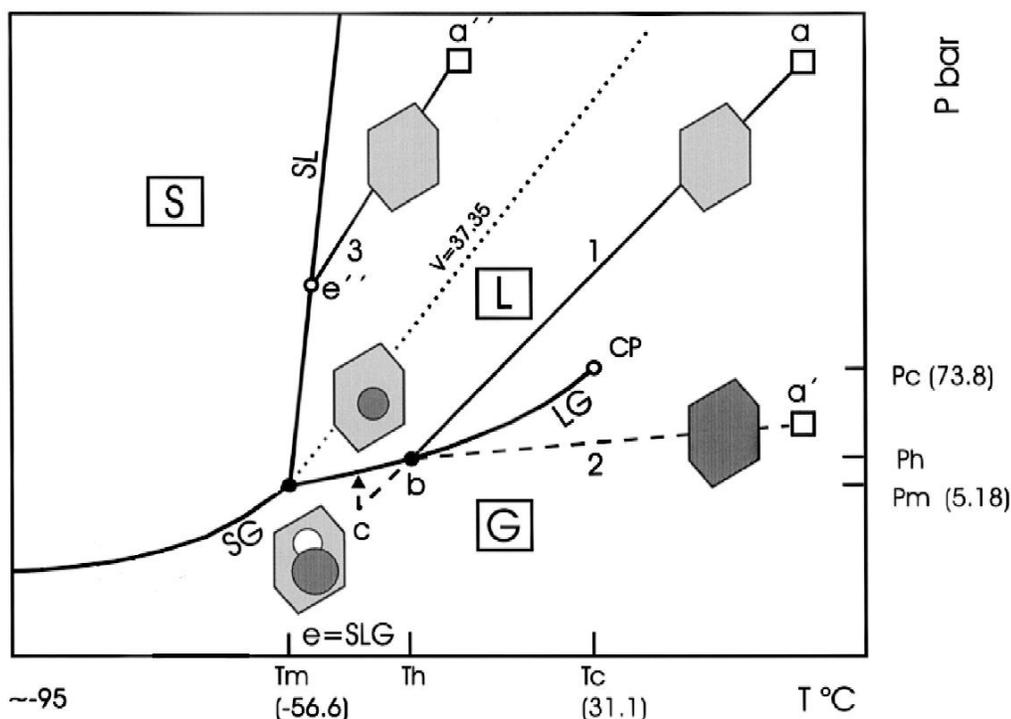


Figura 5. Representación esquemática del diagrama PT del CO₂, junto con las transiciones de fase de inclusiones atrapadas en los puntos a, a', a''. Las descripciones de cada isocora se encuentran en el texto. Los colores de relleno de las inclusiones: gris oscuro = fase gaseosa, gris claro = fase líquida, blanco = fase sólida. Extraído y modificado de Van den Kerkhof & Thiéry, 2000.

Debido a que las inclusiones reportadas en sistemas orogénicos no se componen sólo de dióxido de carbono, también resulta importante revisar de manera breve el sistema binario H₂O – CO₂, el cual probablemente describa de una manera más aproximada la problemática en estudio.

El sistema en estudio se puede describir desde un punto de vista de equilibrio, mediante un esquema P-T-X (Presión-Temperatura-Composición). Las relaciones de fase en este sistema son bastante complicadas debido principalmente a las diferencias que poseen estos dos componentes. El CO₂ es una molécula de mayor tamaño, apolar, su punto triple se encuentra a bajas temperaturas por lo que es bastante volátil, y su punto crítico se encuentra cerca de condiciones atmosféricas (descrito anteriormente). Por otro lado, el H₂O es de menor tamaño, fuertemente dipolar, menos volátil que el CO₂ con su punto triple en 0.01°C y a 0.0006 MPa, mientras que su punto crítico se encuentra a 374°C y 22.1 MPa (Diamond, 2000).

Producto de las diferencias entre las moléculas que componen este sistema, se tiene que en estado líquido la solubilidad mutua entre ambas se ve sumamente restringida. A bajas temperaturas se tienen dos líquidos, uno rico en CO₂ y otro rico en H₂O, estos fluidos inmiscibles coexisten en una amplia gama de condiciones P-T-X. Sin embargo, a medida que la temperatura va aumentando, la solubilidad entre ambos también aumenta. Esto ocurre hasta los 265°C y 220 MPa, punto en el cual la solubilidad mutua es completa (Diamond, 2000). Para una comprensión acabada de lo que ocurre a

bajas temperaturas y de los distintos estudios que se han realizado en el sistema $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$, se recomienda al lector recurrir a Bakker & Diamond (2000) y Diamond (2000), investigaciones en las que se estudia este sistema desde una mirada geoquímica.

En la figura 6 y 7 se esquematiza el sistema $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ en un diagrama cualitativo en función de P-T-X. En la figura 6 sólo se muestra la porción de alta presión y temperatura de la región de inmiscibilidad junto con la curva crítica superior, mientras que en la figura 7 se puede observar el diagrama completo.

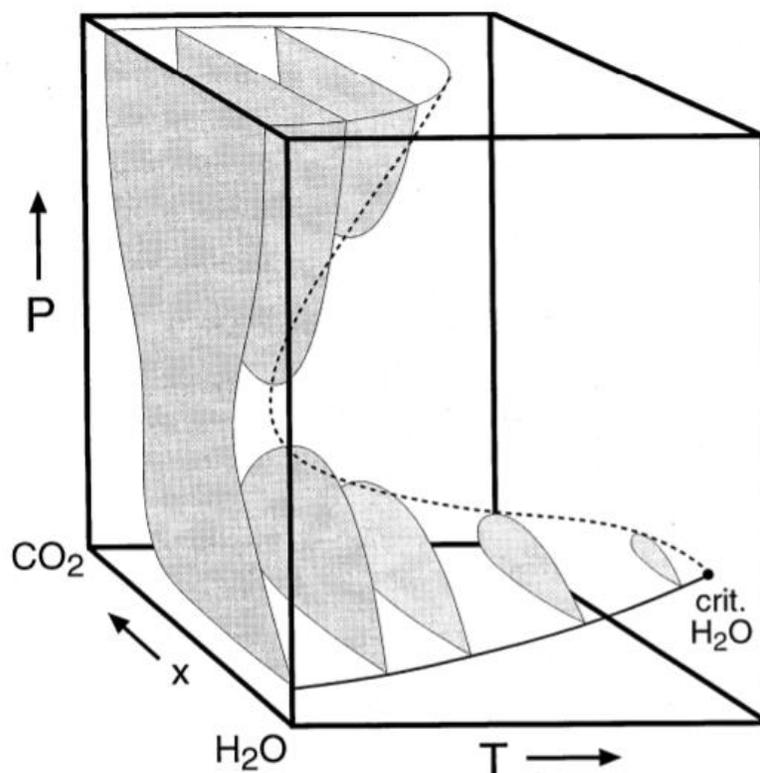


Figura 6. Diagrama esquemático del sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ en función de P-T-X. Se muestra sombreada la porción de alta presión y temperatura de la región de inmiscibilidad y la curva crítica superior. Extraído de Bakker & Diamond (2000).

Por otro lado, la figura 7 (a) está vista desde el vértice de baja temperatura, alta presión y rico en H_2O . Para poder esquematizar las condiciones de alta presión y temperatura, el punto crítico del agua se ha dibujado a una menor presión que el punto crítico del dióxido de carbono. Sumado a esto, para dar claridad al diagrama, los ejes no son lineales ni se encuentran a escala. En los planos de los miembros puros de agua y dióxido de carbono se observan los diagramas de fase de cada uno respectivamente, junto con las curvas de equilibrio de fase que se originan en los puntos triples. Estos puntos están etiquetados con t_{CO_2} y $t_{\text{H}_2\text{O}}$ para cada especie. También se visualizan los puntos críticos etiquetados con c_{CO_2} y $c_{\text{H}_2\text{O}}$. En la porción de baja temperatura se pueden visualizar los campos de estabilidad del clatrato, pero su estudio se aleja de la presente investigación, por lo que se deja propuesto para el lector.

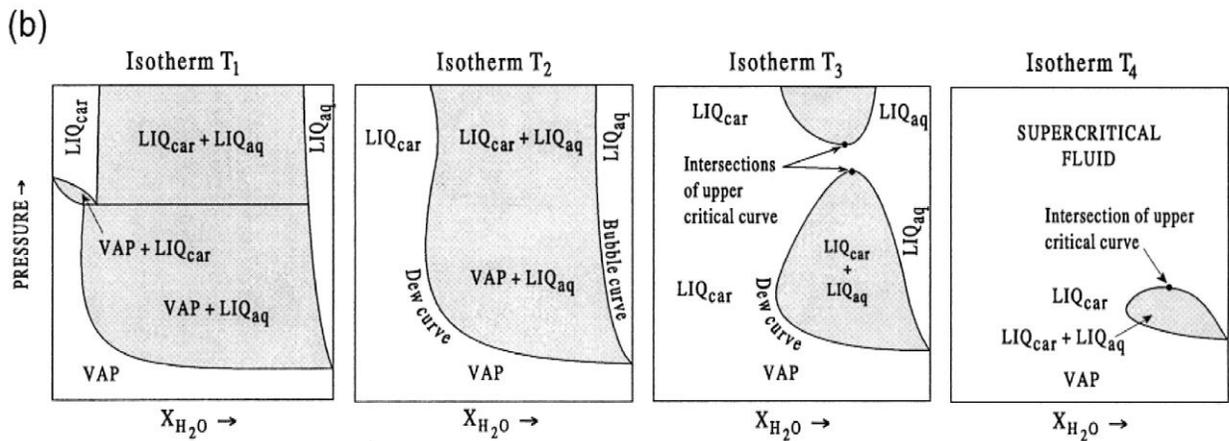
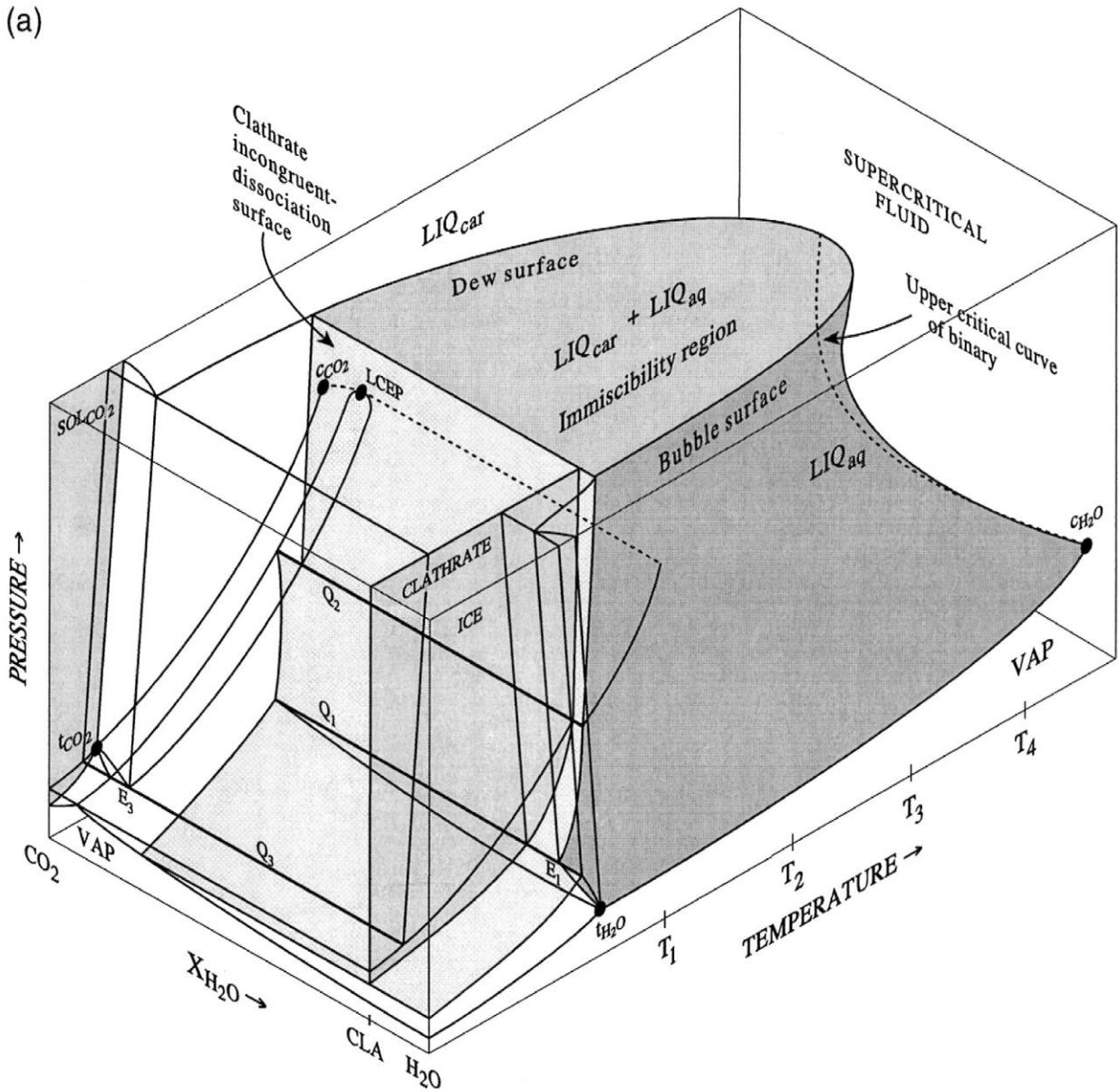


Figura 7. (a) Modelo esquemático P-T-X de las relaciones de fase en el diagrama CO₂-H₂O. Con gris oscuro se encuentra sombreada la región de inmiscibilidad líquido-líquido. (b) Secciones isotérmicas a través de la región de inmiscibilidad para las temperaturas T₁-T₄ señaladas en (a). Extraído de Diamond (2000).

2.5 Origen del CO₂ en depósitos orogénicos.

Desde hace décadas que inclusionistas han reportado cantidades elevadas de CO₂ en inclusiones fluidas hospedadas en vetas de cuarzo-oro (e.g. Roedder, 1973, Colvine et al., 1984, Robert & Kelly, 1987; Ho, 1987; Diamond, 1990, Goldfarb, 2015). Kravtsov & Fridman (1965) registraron inclusiones ricas en este volátil y propusieron que esta abundancia pudiese ser una herramienta efectiva para la exploración de oro. Boyer et al. (1967) también reconoció fluidos ricos en CO₂ en vetas de cuarzo y estableció una clara relación (directa o indirecta) entre el oro y el volátil.

A diferencia de depósitos como pórfidos, epitermales o IOCG, los depósitos orogénicos y los IRGD (*Intrusión-Related Gold Deposits*) poseen cantidades elevadas de oro asociadas a fluidos ricos en CO₂, de bajas salinidades y con escasa presencia de otros metales (Garofalo & Ridley, 2014). Por lo anterior, resulta importante comprender el origen de los fluidos hidrotermales que transportan la mineralización en estos tipos de depósitos, específicamente en los orogénicos. En esta línea, a continuación, se presentan algunas de las ideas que se proponen para el origen del CO₂ en estos depósitos.

Los estudios del contenido de dióxido de carbono en la atmósfera a lo largo de la historia de la tierra señalan que no existe una relación directa entre grandes episodios volcánicos y un aumento global en este gas, por lo que se sugiere que el origen volcánico-magmático no es la única forma en que el CO₂ llega hasta la atmósfera (Touret, 1992). Se propone que grandes cantidades de este volátil se acumulan en la parte baja de la corteza, producto de la acción de magmas que vienen del manto y que poseen altas cantidades de carbono. Mientras que, por otro lado, también se propone que una porción importante puede deberse al aporte de carbono reciclado en procesos de subducción, el cual puede añadirse a procesos metamórficos y magmáticos en porciones profundas de la corteza relacionadas a la subducción.

Debido a lo expuesto anteriormente, se deben analizar tanto procesos magmáticos como metamórficos en la búsqueda del origen del dióxido de carbono. Por su parte, en rocas de orígenes magmáticos pueden encontrarse fluidos ricos en carbono producto de la descomposición de materia orgánica, por reacciones de oxidación relacionadas al grafito o por la descarbonización de rocas calco-silicatadas (Touret, 1992; Van den Kerkhof & Thiéry, 2000).

Otro origen propuesto puede corresponder al CO₂ reportado en inclusiones fluidas hospedadas en cristales de rocas de la parte superior del manto. Roedder (1984) reportó estas inclusiones en cristales de olivino y piroxeno de origen mantélico. Andersen et al. (1984) reporta indicios de una fase fluida libre en xenolitos en Victoria, Australia. Estos se evidencian debido a la presencia de cavidades de tamaño milimétrico cubiertas por minerales de alta presión, específicamente granates, a una profundidad aproximada de 60km. Esto se asocia directamente a la formación de facies granulitas en la parte superior del manto, eventos en los cuales el CO₂ se puede acumular en la parte baja de la corteza

bajo un peak de metamorfismo, para luego ir ascendiendo y liberándose a medida que el grado metamórfico va disminuyendo (Newton, 1989; Touret, 1992).

En otros procesos de metamorfismo, a medida que los fluidos son re-equilibrados durante el alzamiento, dependiendo de los buffer que controlen las reacciones, se pueden generar mezcla de gases (pseudo) binarios de CO₂-CH₄ (reducidos) o CO₂-N₂ (oxidados) (Bakker & Jansen, 1995; Huizenga, 2001). Mezcla de estos tres gases en proporciones similares son difíciles de encontrar en inclusiones fluidas de origen natural (Van den Kerkhof, 1988).

Vaugh & Ridley (2014), en un estudio realizado en el batolito The Louis Lake, Wyoming, reportaron inclusiones fluidas acuosas-carbónicas, ricas en S y ricas en CO₂ que representan las etapas magmáticas-hidrotermales tardías en la cristalización de un cuerpo granítico. La particularidad de este cuerpo batolítico es que se encuentra adyacente al distrito de Au orogénico en cinturones de esquistos verdes de South Pass, en una zona cercana al contacto entre ambas unidades.

Producto de lo anterior, se tiene que existen distintas ideas del posible origen del CO₂ en depósitos orogénicos, ya sea de reacciones metamórficas de descarbonización de interacción fluido-magma, o bien, debido a un aporte externo que considera al manto como principal fuente. Sin embargo, de lo que sí existe certeza es que este volátil junto al H₂O y otros en menores cantidades, actúan como medio de transporte de metales en un fluido hidrotermal, para luego precipitarlo y dar origen a los depósitos en estudio.

2.6 Inclusiones Fluidas

Las inclusiones fluidas son porciones de una fase fluida que quedan atrapadas dentro de imperfecciones de un cristal mientras este se desarrolla. El fluido puede ser líquido, vapor, o un fluido supercrítico, y su composición puede ser agua pura, salmueras, gases, sulfuros, carbonatos, entre otros (e.g. silicatos, boratos) (Bodnar, 2003).

Es más común encontrar cristales con inclusiones fluidas visibles que cristales sin éstas, por lo que son una característica común de los minerales. Su tamaño se encuentra en escala de micrones, siendo escasamente vistas algunas con tamaños cercanos al milímetro. De acuerdo con Roedder (1984), el número de inclusiones en una muestra dada aumenta cuando disminuye el tamaño de las inclusiones, y algunos cuarzos lechozos y calcita pueden contener hasta 10⁹ inclusiones fluidas por cm³.

Para que se atrapen inclusiones el cristal debe estar sometido a un proceso geológico en el que se genere un fluido, el cual aporta la porción que queda atrapada. Estudiar estas inclusiones permite obtener información de la composición del fluido y de las condiciones termodinámicas en las que se atrapó, entregando de esta manera información directa del proceso geológico que involucró tanto al cristal como a la inclusión (Roedder, 1984; Goldstein & Reynolds, 1994)

Como este fluido puede quedar atrapado en imperfecciones, también puede escapar o interactuar con el medio externo. Para obtener información fidedigna del fluido y el proceso geológico relacionado, se establecieron las denominadas 'Reglas de

Roedder', con las que se asegura que la inclusión a estudiar contenga información que aporte a la investigación y de resultados verídicos:

1. El fluido presente en la inclusión es atrapado originalmente como una fase homogénea
2. La inclusión constituye un sistema cerrado, por lo que nada ha entrado ni salido de ella.
3. La inclusión representa un sistema isocórico, es decir, permanece a volumen constante.

2.6.1 Clasificación de inclusiones fluidas

Existen dos maneras de clasificar las inclusiones fluidas no excluyentes entre sí (Roedder, 1984; Nash, 1976). Una se basa en la temporalidad del atrapamiento de la inclusión y la otra en la composición del fluido. Dada la dificultad que conlleva realizar una clasificación de manera correcta, Goldstein & Reynolds (1994) presentan una tercera forma de clasificarlas en donde se minimiza el énfasis temporal, denominada *Fluids Inclusions Assemblages (FIA)*, lo que se puede traducir como clúster o familia de inclusiones fluidas.

2.6.1.1 Clasificación temporal de inclusiones fluidas.

Una de las maneras más utilizadas para clasificar las inclusiones es la propuesta por Roedder (1984), en donde relaciona la temporalidad de formación de la inclusión en relación con el mineral hospedante. En esta línea, se definen como inclusiones **primarias** a las que se forman durante el crecimiento de un cristal, y son un resultado directo de este proceso. Si el cristal ya se formó y se produce una fractura, puede ingresar fluido por esta fractura y formar inclusiones **secundarias**. Cuando se forma una fractura durante el crecimiento del cristal y en esta fractura se atrapan inclusiones, Roedder (1984) las denominó **pseudosecundarias**. En la Figura 8 se esquematizan los tres tipos de inclusiones mencionados anteriormente.

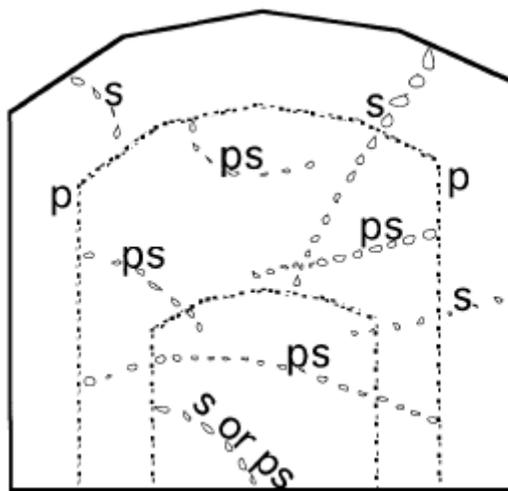


Figura 8. Inclusiones primarias (p), secundarias (s), pseudosecundarias (ps). Extraído y modificado de Goldstein (2003).

2.6.1.2 Clasificación composicional a temperatura ambiente.

Esta clasificación se basa en las fases observables en la inclusión fluida al microscopio petrográfico, dando rápidamente una idea composicional del fluido. Se basa en el trabajo realizado por Nash (1976), donde propuso una clasificación basada en las fases observables en una inclusión a temperatura ambiente. Se proponen cuatro tipos de inclusiones, ilustrados en la Figura 9.

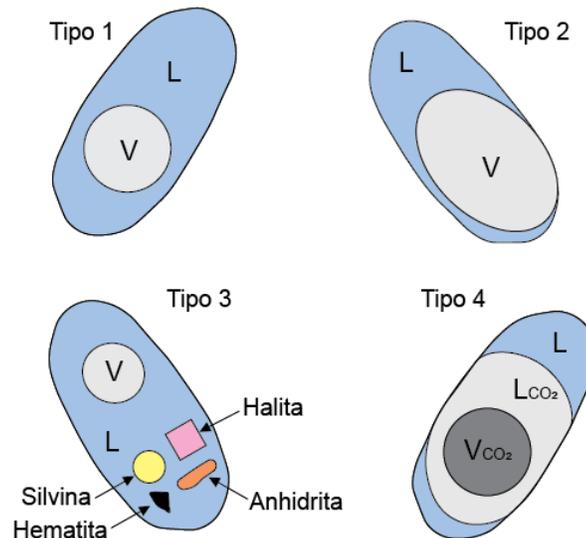


Figura 9. Tipos de inclusiones propuestos por Nash (1976). Las Tipo 1 corresponden a inclusiones en que predomina la fase líquida sobre la fase vapor; las Tipo 2, a inclusiones en las que predomina la fase vapor sobre la fase líquida; las Tipo 3, inclusiones con fase líquida, vapor y sólidos, y las Tipo 4, a inclusiones con fase CO₂ vapor, líquido y H₂O líquido.

2.6.1.3 Fluid Inclusions Assemblage (FIA) o familia de inclusiones.

Para evitar dificultades asociadas a la clasificación temporal, Goldstein & Reynolds (1994) introdujeron el concepto de Fluid Inclusions Assemblage (FIA) para definir un grupo de inclusiones fluidas atrapadas al mismo tiempo. Siguiendo este concepto, se desprende que una familia de inclusiones (FIA) representa a un mismo evento de atrapamiento de fluido (Goldstein, 2003). Este requisito supone que la familia fue atrapada a las mismas condiciones de presión y temperatura, atrapando un fluido de una composición aproximadamente igual. Sin embargo, con respecto a la temporalidad de atrapamiento, cabe mencionar que el significado de decir 'al mismo tiempo' es relativo al ambiente geológico en que se producen las inclusiones, siendo algunas veces un proceso de segundos y, en otros casos, un proceso de atrapamiento de miles de años. Por otro lado, también cabe mencionar que Goldstein & Reynolds (1994) describieron muestras en las que la temperatura de homogenización no era constante dentro de una familia, mostrando un aumento paralelo a la dirección de crecimiento. Para este caso, las observaciones petrográficas confirmaron la presencia de una zona de crecimiento del cristal formada durante un evento de fluido con temperatura en aumento.

3. Marco Geológico

3.1 Geología Regional

La región Andina en Chile central se caracteriza por comprender al menos 4 unidades morfoestructurales mayores, las cuales son, de oeste a este: Cordillera de la Costa, Depresión Central, Cordillera Principal y Antepaís (Tapia, 2010). En algunas zonas de esta porción también se puede reconocer una Cordillera Frontal, entre la Cordillera Principal y el Antepaís (Figura 10).

El presente estudio se enmarca espacialmente dentro de lo que corresponde a la morfo estructura de la Cordillera de la Costa, justo en la zona ubicada entre los dos flancos propuestos por Farías *et al.* (2008). Hacia el Oeste se tiene el flanco occidental compuesto por un basamento cristalino metapelítico del Paleozoico tardío-Triásico y, hacia el Este, se tiene el flanco oriental compuesto por secuencias intra-arco del Jurásico-Cretácico que mantean preferentemente hacia el este e intrusivos de edad similar.

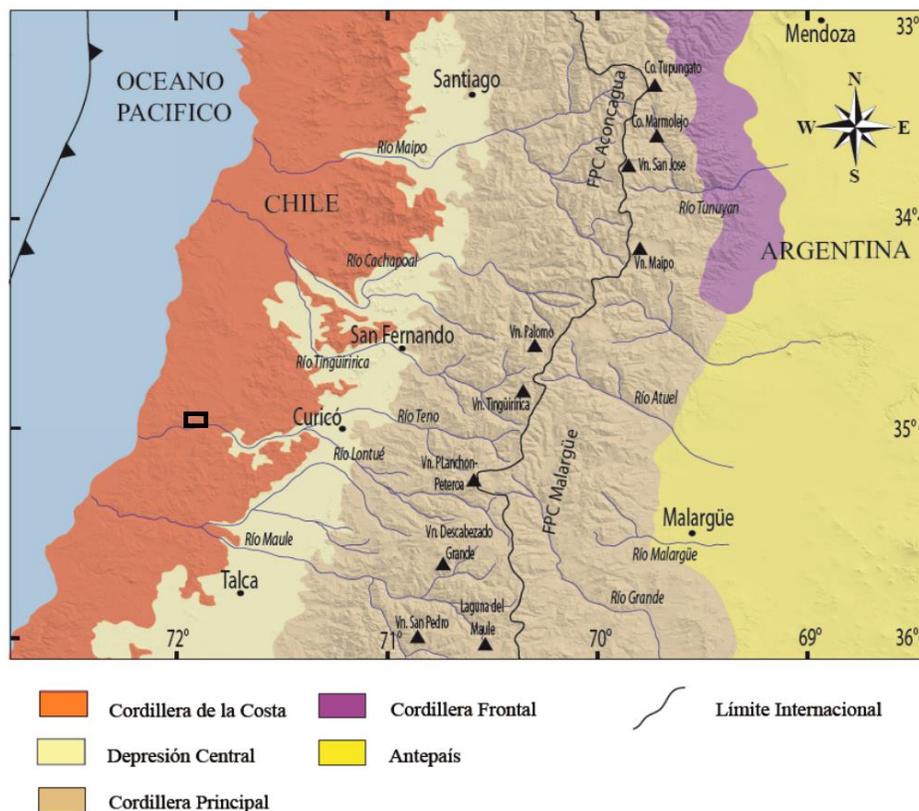


Figura 10. Mapa con las principales unidades morfoestructurales que se encuentran en Chile central. El recuadro negro señala la zona de estudio (Tapia, 2010).

Siguiendo la propuesta de Farías *et al.* (2008), en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa, ésta se constituye principalmente por terrenos paleozoicos, los cuales forman parte de una unidad geológica tradicionalmente denominada “Basamento Cristalino de Chile Central” (Aguirre, 1965). En este basamento se distinguen unidades constituidas por rocas metamórficas y otras, por intrusivos de dimensiones batolíticas. Estudios sistemáticos de estas rocas (González-Bonorino, 1970; Godoy, E. 1970; Aguirre

et al., 1972; Willner et al., 2005) permitieron proponer una división del Basamento Cristalino en una Serie Occidental, metamorfizada bajo un gradiente P/T intermedio a alto, y a una Serie Oriental, de gradiente P/T bajo.

Como se puede ver en la Figura 11, en el extremo occidental del basamento cristalino aflora la Serie Occidental (Western Series). Corresponde una larga y estrecha franja que aflora en la costa de Chile central, la cual se caracteriza por haber sido afectada por un metamorfismo de alta presión y baja temperatura. Se compone por esquistos y en menor medida por metacherts, mármoles y serpentinitas que han sido interpretadas como parte de un complejo de subducción neopaleozoico (Hervé *et al.*, 1981, Forsythe, 1982)

Por su parte, al Oeste de la Serie Occidental aflora la Serie Oriental, compuesta principalmente de metagrauvas de origen turbidítico, acompañado de lentes, cuerpos irregulares con minerales calcosilicados y una zona de rocas corneanas producto del metamorfismo de contacto del batolito granítico que se encuentra directamente al oriente de esta serie. Se ha observado deformación en pliegues tipo chevrón y un grado metamórfico que varía entre facies anfibolita y granulita, siendo considerado como formado en un ambiente de baja presión y alta temperatura (Hervé *et al.*, 2007). Se asocia su origen a la acreción de sedimentos frente a un margen continental estable.

Las dataciones radiométricas realizadas en el Basamento Cristalino antes descrito, han establecido una edad máxima carbonífera superior y mínima pérmica superior, para el último evento de metamorfismo (Munizaga *et al.*, 1973; Hervé *et al.*, 1976 1982, 1988; Wilner *et al.*, 2005)

La franja descrita en los párrafos anteriores corresponde a lo definido como el Basamento Cristalino asociado al paleoprisma de acreción, el cual se encuentra en contacto con el flanco oriental definido por Farías *et al.* (2008). Este flanco oriental representa las cuencas de ante-arco, al arco y parte del intra-arco Mesozoico, con secuencias sedimentarias marinas (Thiele & Morel, 1981), secuencias volcánicas y cuerpos intrusivos del Paleozoico tardío y también del Mesozoico (Farías *et al.*, 2008).

El presente estudio se ubica precisamente en la zona entre los dos flancos descritos anteriormente, con rocas graníticas que se han interpretado como basamento paleozoico, sobre el cual se depositan discordantemente secuencias sedimentarias marinas y también unidades volcánicas, ambas Mesozoicas. La escasez de trabajo en detalle y la falta de dataciones en el distrito dificulta establecer si el cuerpo intrusivo pertenece al basamento Paleozoico tardío o al Triásico, desconociendo, de igual manera, las edades que posee la mineralización y sus distintas etapas asociadas.

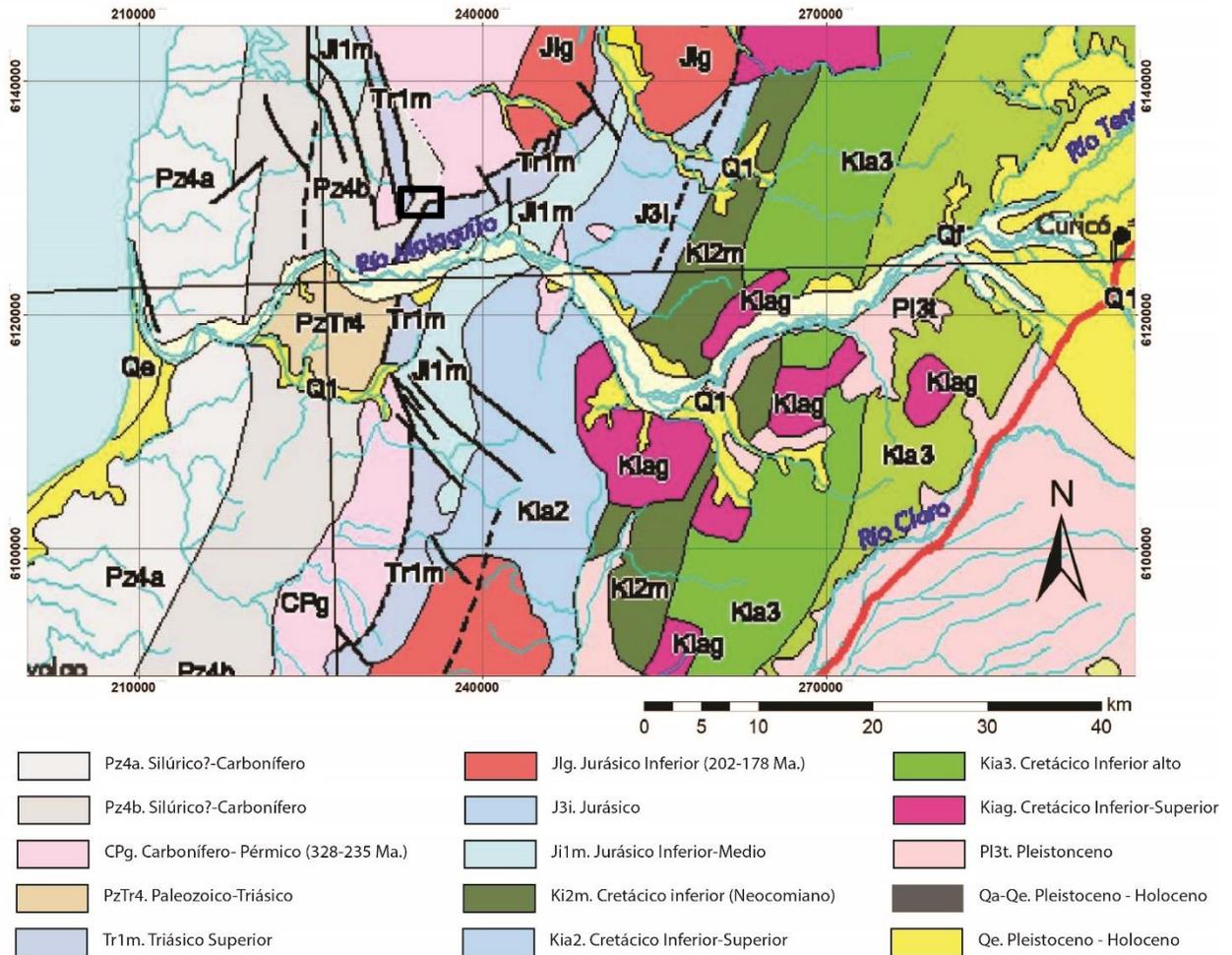


Figura 11. Mapa geológico de la Cordillera de la Costa en la porción del área de estudio. El recuadro negro muestra el área de estudio. SERNAGEOMIN (2003).

3.2 Geología Distrital

Se presentan a continuación, las formaciones estratificadas y cuerpos intrusivos que afloran en la zona de estudio. La información expuesta se basa en el trabajo realizado por Corvalán (1976), Thiele & Morel (1981) y observaciones realizadas en terreno por el autor del presente trabajo. Cabe destacar que gran parte del área de estudio se encuentra cubierta por una potente capa de suelo, que en algunos casos alcanza hasta 15m de potencia, y plantaciones forestales de pinos, lo que dificulta labores relacionadas al trabajo en terreno.

3.2.1 Rocas estratificadas.

- Fm. El Cisne (Triásico Superior)

Si bien, esta formación no aflora en la zona de estudio, sí lo hace en áreas cercanas, dentro del distrito minero Licantén – Hualañé. Se define como sedimentaria marina, corresponde a una subcuenca donde se acumularon facies detríticas inmaduras,

procedentes principalmente de rocas metamórficas y graníticas, y pelitas intercaladas; ambas depositadas en ambientes litorales e infralitorales (Corvalán, 1976). La composición y distribución de las facies detríticas permiten inferir que este dominio se hallaba flanqueando al oeste, por una zona elevada, constituida por las rocas metamórficas paleozoicas, pertenecientes al zócalo (Morel, 1981).

- Fm. Estero La Higuera (Triásico superior).

Dispuesta de manera discordante sobre la Fm. Crucero de Los Sauces, se tiene la Fm. Estero de la Higuera. Descrita como una subcuenca que abarcó las zonas de Hualañé, este de Curepto y Gualleco, donde se acumularon facies detríticas maduras (cuarcíferas), de procedencia granítica. También se acumularon facies pelíticas, litorales a epibatiales, y cuya distribución vertico-lateral y espesores indican una apertura de la cuenca de depositación hacia el suroeste. La distribución de las facies detríticas permite inferir que este dominio estaba limitado, al este, por rocas graníticas paleozoicas (Morel, 1981).

En lo que respecta a litología, esta se compone de areniscas cuarcíferas de grano fino a grueso y conglomerádicas, de color gris pardo claro; en parte subarcosas y subgrauvacas (Corvalán, 1976). También se observaron intercalaciones de lutitas grises claro a oscuro, con presencia de fósil *Monotis*.

- Fm. Crucero de Los Sauces (Triásico superior).

Probablemente corresponda al inicio de la cobertura del zócalo Paleozoico, definida como una serie volcánica y volcanoclástica basáltica, en discordancia de erosión sobre el zócalo granítico del Paleozoico Superior – Triásico Medio(?). La edad y la relación de base, discordante con el granito en parte cataclastizado, permiten suponer una actividad epirogenética, acompañando la acción erosiva previa a esta última época (Thiele & Morel, 1981).

Las rocas que afloran se encuentran obliteradas, dificultando su descripción macro y microscópica. Entre las muestras estudiadas se reconocen posibles basaltos cloritizados y tobas epidotizadas. De acuerdo con Corvalán (1976), estas corresponden principalmente a ignimbritas de color gris rojizo y tobas brechosas de color gris medio a gris verdoso.

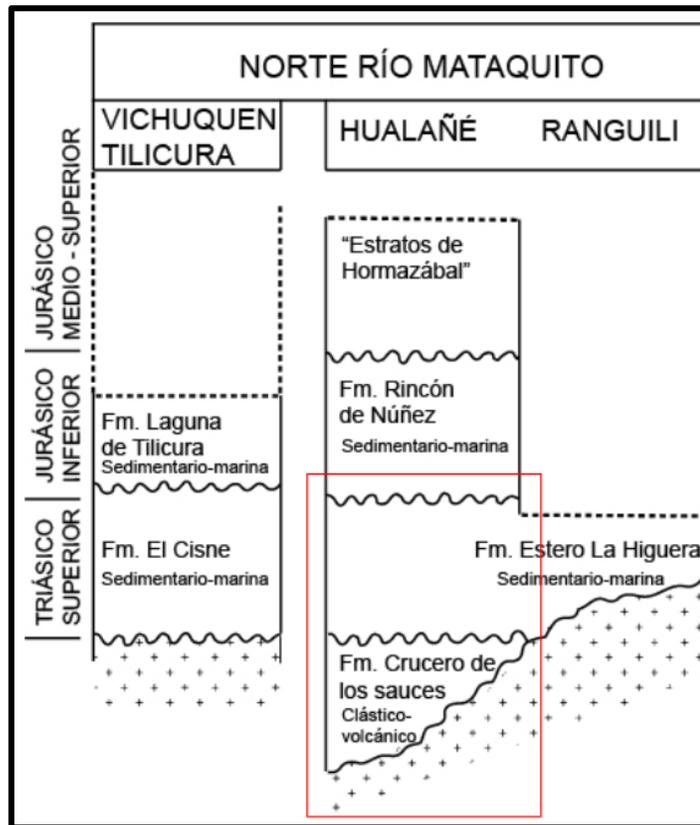


Figura 12. Cuadro de las formaciones del área de estudio, se señalan sus edades y distribución con respecto al río Mataquito. Extraído de Thiele & Morel (1981).

3.2.2 Intrusivos Paleozoicos

De acuerdo con lo propuesto por Corvalán (1976), en el distrito aflora parte de un cuerpo intrusivo de dimensiones batolíticas, sobre el cual se disponen de manera discordante las formaciones descritas anteriormente. Posee una composición tonalítica a granodiorítica, con granitos, dioritas y grabros subordinados.

Este cuerpo aflora de forma continua al este del basamento metamórfico, en una franja de disposición general norte-sur. A menudo presenta características cataclásticas y es común observarlo en contacto tectónico con unidades del Triásico superior (Muñoz, 1993). De acuerdo con estudios realizados por Hervé *et al.* (1976), ha sido asignado al Carbonífero. Sin embargo, en la zona de estudio no se han realizado dataciones recientes que puedan establecer las edades del cuerpo en cuestión.

3.3 Geología Estructural.

La tectónica de la región se caracteriza por la interdependencia existente entre los rasgos estructurales del zócalo y de la cobertura. El zócalo, particularmente la unidad granítica, presenta, de manera general, estructuras mayores que definen altos topográficos. Destaca, como se mencionó anteriormente, la forma de domo al norte del río Mataquito y cómo la cobertura se amolda a este relieve positivo (Thiele & Morel, 1981).

En un estudio regional realizado por Muñoz (1993), se pudo observar la existencia de un complicado sistema estructural, dominado principalmente por fallas subverticales, con componentes horizontales, cuya cinemática no está del todo clara.

La Cordillera de la Costa presenta una estructura de tipo homoclinal, con capas que mantean entre 20° y 60° al ESE. Esta secuencia estratificada Mesozoica está cortada hacia el oeste por la Falla El Guindo, posiblemente inversa (Gana & Hervé, 1983), de rumbo NS, que separa la secuencia estratificada del intrusivo granítico Paleozoico. A continuación, se sintetizan las estructuras de mayor importancia que pueden estar afectando la zona de estudio.

- Pliegues.

La cobertura estratificada Triásico- Jurásica cercana a la zona de estudio, al este de Curepto, muestra, en líneas generales, una estructura tipo homoclinal, de rumbo noreste y manteos variables entre 20° y 60° hacia el sureste. La mayor variación de su orientación se observa inmediatamente al norte del río Mataquito, lugar en que se encuentra la zona de estudio, donde el rumbo de las capas cambia localmente a una dirección este-oeste, subparalela al borde sur del domo de zócalo granítico. La estructura principal homoclinal presenta, de este modo en este sector, una curvatura que conforma un sinclinal amplio, de gran radio, con eje buzante al sureste, y que afecta a las formaciones Estero La Higuera y Rincón de Núñez.

- Fallas.

Como se mencionó anteriormente, las fallas que afectan a las unidades de la cobertura y del zócalo configuran un complicado sistema, en el cual predominan fallas normales subverticales que, en algunos casos, poseen componentes de desplazamiento horizontal (Thiele y Morel, 1981). Se presentan a continuación las estructuras que pueden ejercer un control en el área de estudio

Juego de fallas NS:

Tiene especial importancia por el control que ejerce en la distribución de las unidades de zócalo y cobertura, y su existencia se ha detectado, esencialmente, en los afloramientos del zócalo.

- Falla El Guindo: constituye la estructura de fractura principal de la región. Tiene una dirección norte-sur y pone en contacto a las rocas graníticas y/o cataclásticas (Paleozoico Superior (?)-Triásico Inferior(?)-Medio (?)), pertenecientes al zócalo, con las de la cobertura estratificada, triásico-jurásica. Esta falla tiene una corrida, observable en el área considerada. superior a 40 km, que abarca desde el estero Gualleco, por el sur, hasta las cercanías de Víchuquén, por el norte. Posee un movimiento con componente vertical preferencial, el cual produjo un alzamiento relativo del bloque occidental, granítico, perteneciente al zócalo (Thiele, 1965). El salto mínimo de falla estimado en este lugar es de 1.700 m (Morel, 1981).

Paralelamente a la traza de la Falla El Guindo, tanto en las rocas graníticas, paleozoicas, como en las sedimentitas triásicas, se disponen lineamientos importantes y zonas estrechas de brechas de falla (4-10 m) que, posiblemente, controlaron la evolución de la cuenca de sedimentación de Hualañé. En la unidad de rocas graníticas, las brechas de falla presentan clastos angulosos de rocas plutónicas y sedimentarias en una matriz brechosa muy alterada.

Juego de fallas NE:

Otras estructuras importantes que se pueden visualizar en la Cordillera de la Costa, a la altura de la zona de estudio, es el juego de fallas N30°-40°E. Estas controlan parcialmente el drenaje de la región, y por los numerosos lineamientos observados, es probable que las fallas de este juego sean algo más jóvenes que las de dirección NS, a las cuales, comúnmente cortan (Thiele y Morel, 1981).

Juego de fallas NW:

Por último, se tiene el juego de fallas N30° – 55°W, las cuales representan la mayor densidad de estructuras en la zona y cortan a los sistemas anteriormente descritos. Su efecto se traduce en saltos topográficos, basculamientos y desplazamientos horizontales. Este juego también se evidencia en un acentuamiento en las fracturas paralelas a estas estructuras.

- Discordancia.

De acuerdo con lo descrito en la sección de Rocas Estratificadas e Intrusivos Paleozoicos, se puede deducir que en el área de estudio se tiene una discordancia de carácter regional. Esta corresponde a una discordancia de erosión entre el zócalo granítico paleozoico y las secuencias sedimentarias triásicas que sobreyacen al zócalo, desarrolladas durante un período transgresivo (Corvalán, 1976; Muñoz, 1993 y Thiele y Morel, 1981)

3.4 Ambiente Metalogénico y Yacimientos Existentes

En la Cordillera de la Costa de Chile Central se pueden encontrar depósitos con mineralización aurífera emplazados en rocas volcánicas del Cretácico inferior. Destacan en este grupo Andacollo Oro, Mantos de Punitaqui, Colliguay, Capote, Ojancos, La Higuera, además de Las Palmas y El Tigre, estos últimos ubicados en a pocas decenas de kilómetros del Proyecto Joy. Junto con esto, también se tiene la presencia de yacimientos minerales en vetas de cobre-oro mesotermiales a epitermales relacionados a rocas ígneas del Cretácico tardío: algunos de estos son los distritos Inca de Oro, El Espino, El Bronce de Petorca, Alhué y Chancón. (Maksaev et al., 2007).

En la porción más austral de Chile Central, dentro de la zona donde se viene ubicando el Proyecto Joy, los antecedentes publicados de mineralización y alteración son escasos y probablemente inexactos. De acuerdo con la información recopilada por Muñoz (1993), en la región, a un par de decenas de kilómetros, se tienen los yacimientos Las Palmas y Docamávida, correspondientes a sistemas vetiformes, con mineralización de cuarzo-oro, cuyas referencias (Candia, 1987; Hornkohl, 1940) señalan que estas vetas

desarrollan potencias entre 0.5 a 4 metros y cubren áreas del orden de 5 a 10 hectáreas. En el mismo trabajo de Muñoz (1993) se señala a El Chivato, ubicado en las cercanías de Talca, como un yacimiento de oro finamente diseminado, en una roca intrusiva de composición ácida, con una alteración hidrotermal en superficie representada por clorita y turmalina.

En otros antecedentes recopilados por Gröpper (2011), se describe el prospecto Alto Loica y el Distrito Antena, ambos ubicados en la Cordillera de la Costa de Chile Central. El primero corresponde a sistemas de vetas de cuarzo con mineralización de oro. La mineralización se observa diseminada, en vetillas, rellenando fracturas, en cúmulos botroidales y en cristales de magnetita oxidados. La roca caja que hospeda la mineralización es un monzogranito de biotita de edades carboníferas. En el Distrito Antena, la mineralización se presenta íntimamente ligada a diques félsicos de granitoides, y ocurre de manera diseminada, rellenando fracturas y asociada a piritita y magnetita. Las rocas hospedantes corresponden a metapelitase en facies de esquistos, hornfels de horblenda y cuerpos intrusivos de composición variable. Las edades asignadas a las rocas hospedantes se ubican en el rango Carbonífero – Triásico.

Por último, a escala distrital, se tiene la mina La Negrita ubicada a un par de kilómetros hacia el Oeste del proyecto. En esta se han encontrado leyes económicamente rentables de oro en vetas de cuarzo, las cuales también se hospedan en el cuerpo intrusivo paleozoico en estudio. Mientras que al sur del río Mataquito, 15 km hacia el sureste del proyecto, se tiene la mina Mataquito, desde donde se extrajo oro hospedado en rocas volcánicas probablemente correspondientes a la cobertura Triásica descrita en las secciones anteriores.

4. Metodología

4.1 Trabajo en terreno

Se realizó una campaña de terreno en conjunto con el curso *Geología Económica*, semestre Otoño-2019, a cargo del profesor y guía del presente estudio, Daniel Moncada. Se tomaron muestras correspondientes de la principal estructura mineralizada que posee el proyecto, así como también de estructuras de menor envergadura, roca caja y muestras de suelo. Todas estas muestras fueron extraídas de afloramientos en superficie, ya que no existen accesos a túneles ni labores mineras previas.

Durante la campaña se efectuó un levantamiento geológico a escala 1:15.000 con el objetivo de caracterizar la zona con base en su litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras. Se mapearon y muestrearon todas las vetas encontradas en superficie, alcanzado un total de 29 muestras, mientras que de la roca caja 8 especímenes fueron seleccionados para realizar estudios petrográficos microscópicos posteriores.

4.2 Petrografía macroscópica

Para efectuar un levantamiento geológico acabado, se tomaron 22 muestras de un total de 29 vetas mapeadas. Sumado a esto, también se muestreó la roca caja y se estudiaron las relaciones de contacto entre la roca huésped y las estructuras.

Las muestras recolectadas fueron clasificadas y descritas en detalle. Se estudió su mineralogía de ganga y metálica, el estilo de mineralización y abundancia relativa, las alteraciones hidrotermales y su intensidad, así como también las diferentes texturas observables en los minerales de ganga.

Con esta información se caracterizó el proyecto en estudio con base en su litología, alteración y mineralización a escala macroscópica. Se utilizó esta información para crear los mapas correspondientes y también para integrar una base de datos lo más completa posible del proyecto.

4.3 Mini-stage.

La geóloga y estudiante de Magíster en Ciencias de la Tierra, Samanta Aravena, diseñó y fabricó un aparato portátil capaz de detectar inclusiones fluidas ricas en CO₂ en terreno. El dispositivo, denominado 'mini-stage', fue impreso y armado en las dependencias del Laboratorio de Fabricación Digital (FabLab), de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

El mini-stage funciona como una prensa trituradora de cristales o pequeños fragmentos de cristales. Cuenta con dos plataformas de vidrio, entre las cuales se debe agregar glicerina líquida en pequeñas cantidades, lo suficiente para dejar inmerso al material que se desea triturar. Una vez que el material se encuentra inmerso en la glicerina, se gira un rodamiento que genera presión entre las dos plataformas de vidrio

hasta que el cristal se tritura. Este proceso debe ser observado mediante una lupa que se monta en el mini-stage, con el objetivo de verificar si el cristal fracturado libera burbujas. Las burbujas de CO₂, al no ser solubles en la glicerina, se pueden observar y cuantificar con la lupa, determinando la presencia y cantidad relativa del volátil en las estructuras.

Con el mini-stage se verificó la presencia o ausencia de CO₂ en todas las vetas de cuarzo que fueron mapeadas durante la campaña de terreno. Esta información se verificó posteriormente en trabajo de gabinete, para cerciorarse de las observaciones realizadas durante el terreno.

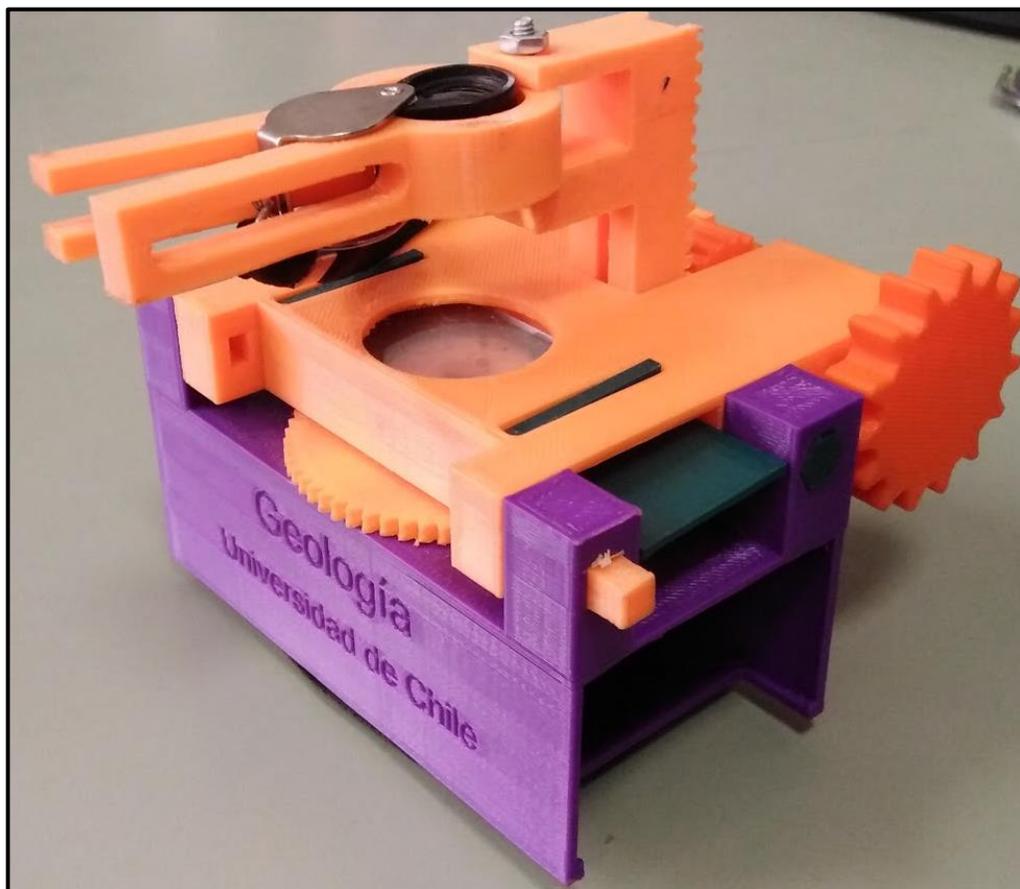


Figura 13. Mini – stage confeccionado en las dependencias de la Universidad de Chile. Herramienta útil para verificar en terreno la presencia de CO₂ en cristales de cuarzo.

4.4 Preparación de cortes transparente rápidos ‘quick-plates’.

Un corte rápido o *quickplate* es una sección delgada de una muestra, con un grosor entre 70 y 100 μm , con bajo trabajo de desgaste y que se utiliza para realizar petrografía de inclusiones fluidas. Posee la ventaja de ser más rápido de fabricar y más barato que un corte doble pulido.

Para realizar petrografía mediante el uso de *quickplates*, debe utilizarse un aceite de inmersión que supla la falta de pulido que posee el corte. Este aceite debe tener un índice de refracción cercano al del mineral huésped que posee las inclusiones que se desean estudiar. En este caso el mineral huésped es el cuarzo y se utiliza un aceite de inmersión estándar con índice cercano a 1.51, el cual es adecuado para trabajos petrográficos en cuarzo (Goldstein & Reynolds, 1994).

La técnica de fabricación de *quickplates* fue desarrollada y descrita por Goldstein y Reynolds (1994), la cual se describe a continuación: inicialmente, se selecciona un área de 21 x 35 mm en una cara plana de las vetas en estudio. Idealmente esta área debe ser perpendicular a la pared de la veta, para estudiar la temporalidad de la mineralización. Luego, se corta el área de interés con una sierra de disco diamantada enfriada por agua, con el objetivo de obtener una 'caluga' de 21 x 35 x 15 mm³. Con la zona ya seleccionada y cortada, se desgasta la superficie de interés con carburo de silicio en polvo (grift 120) hasta obtener una cara completamente plana y uniforme. Para eliminar los residuos de carburo de silicio la 'caluga' es limpiada en un baño ultrasónico inmersa en agua por 10 segundos, el cual remueve impurezas remanentes en la muestra. Posterior a esto, se adhiere resina epóxica o cianocrilato a un portaobjetos previamente desgastado a cada 'caluga'. Una vez adherido el portaobjetos y secado el epoxy, se corta la muestra de forma paralela al portaobjetos de vidrio, dejando un grosor idealmente menor a 1 mm. Finalmente, se desgasta la cara libre con grift 120 hasta alcanzar las medidas óptimas cercanas a ~90 mm y, una vez logrado este paso, se limpia la muestra con el baño ultrasónico.

4.5 Petrografía microscópica

El estudio petrográfico se realizó en el microscopio óptico *Olympus BX53*, perteneciente al Departamento de Geología (FONDEQUIP EQM140009), ubicado en el Laboratorio de Inclusiones fluidas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

En primera instancia, se procedió a observar y describir detalladamente los cortes transparentes rápidos y las secciones delgadas obtenidas de la roca caja. Esta labor petrográfica se enfocó en caracterizar las vetas con base en los minerales de ganga, sus texturas y la relación temporal relativa entre estos. Con respecto al cuerpo hospedante, se estudió mineralogía, alteración y cómo estas variaba en distintos puntos de la zona de estudio

Una vez caracterizada la mineralogía de los cortes, se procedieron a caracterizar los arreglos de inclusiones fluidas (FIAs), buscando determinar la relación entre las distintas FIAs observadas, la mineralogía de ganga y la mineralogía de mena. Se registraron los arreglos con relaciones líquido/vapor consistentes, evidencias de ebullición, evaporación rápida o *flashing*, FIAs ricas en CO₂ y también arreglos con posibles sólidos en su interior.

Con la petrografía de inclusiones fluidas finalizada, se seleccionaron las muestras que cumplían con los requisitos necesarios para efectuar estudios posteriores. Para esto, se utilizó la 'caluga' de rechazo que se utilizó para crear el *quickplate* y se envió a confeccionar un corte doble pulido de cada muestra correspondiente.

4.6 Raman

La espectroscopía Raman es una herramienta efectiva para confirmar la presencia y abundancia de CO₂ en inclusiones fluidas (Lamadrid et al., 2017). En este caso, se utilizó el análisis Raman para estimar la presión y la densidad del CO₂ en las inclusiones con fases de vapor y líquidas ricas en este volátil. El espectroscopio utilizado corresponde a un *Horiba HR Evolution* y se encuentra en lab-RAM del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. El equipo fue adquirido gracias al FONDEQUIP EQM170103, cuenta con un espectrógrafo de alta resolución, con un *Grating* de 1800 grooves/mm (450-850nm). Se fijó un Hole de 200 µm, la excitación fue producida por el láser de Ar 532 nm (verde), con una potencia de la fuente de emisión de 107 mW. El láser fue enfocado con un objetivo de 100X y la recolección del espectro duró 90 segundos, con 30 segundos de tiempo de adquisición y una acumulación de 3.

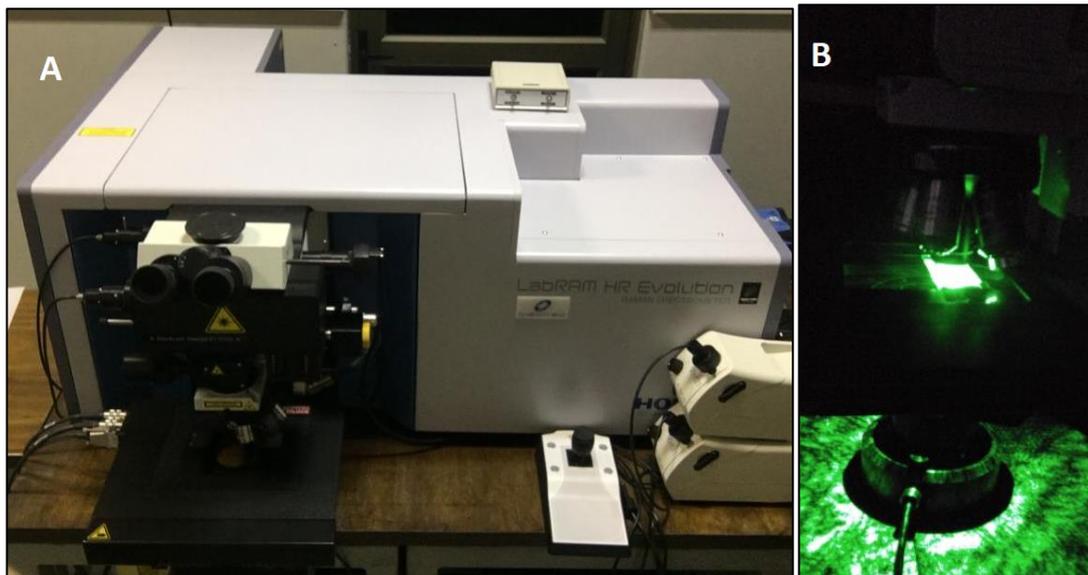


Figura 14. Espectroscopio Raman, ubicado en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. En A se observa el Raman en reposo o desuso, mientras que en B se observa funcionando.

5. Geología del proyecto y resultados

5.1 Caracterización macroscópica del prospecto.

En el área de estudio se encontraron 29 vetas de cuarzo en afloramientos superficiales. La orientación preferencial de las estructuras es NNE-SSW, encontrándose gran parte de estas con un rumbo entre 0° y 30° . En menor medida se encontraron vetas de cuarzo con rumbo NW-SE y otras EW, hallándose estas en zonas de intenso fracturamiento y presencia de pequeñas vetillas de cuarzo. Las vetas poseen un manteo cercano a los 90° o subvertical y una potencia que varía entre un par hasta 80 cm en sus expresiones superficiales. Según datos proporcionados por la compañía, la veta Antonia, principal estructura mineralizada del proyecto, posee una potencia en profundidad que alcanza los 1.8 m. Sin embargo, no fue posible acceder al túnel donde se encuentra la veta, ya que éste se encontraba inundado.

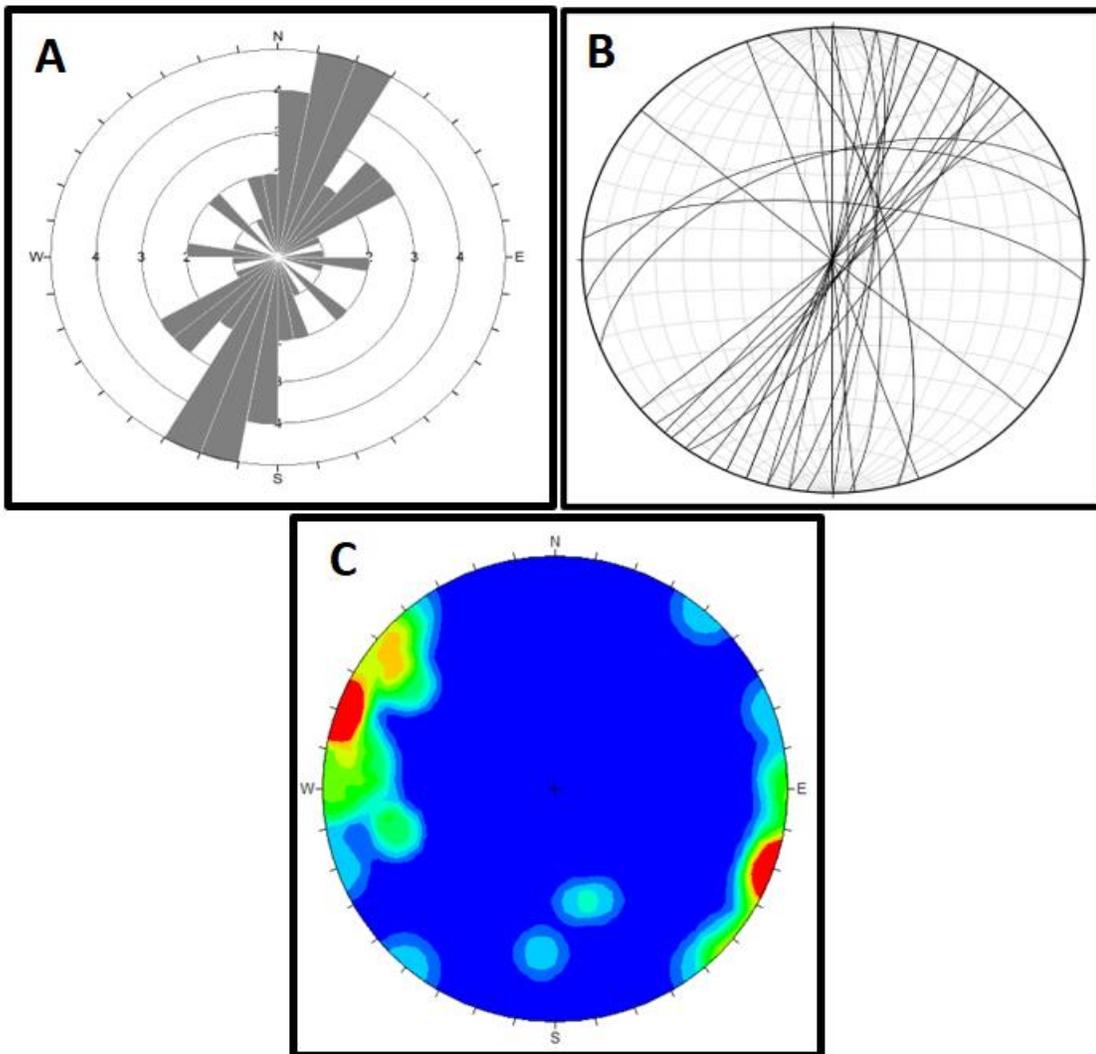


Figura 15. Representación de la información estructural de las vetas de cuarzo. (A) Roseta con rumbo de las vetas, (B) Red estereográfica con planos de las vetas de cuarzo y (C) Red estereográfica con planos de las vetas de cuarzo.

Por otro lado, también se encontraron nueve diques. Estos poseen una litología rica en cuarzo, de textura fanerítica, con tamaños de cristales finos cercano a 1mm. La orientación de estas estructuras es preferentemente NW-SE. Su potencia varía entre los 15 cm y 1 m, su buzamiento varía levemente ya que la mayoría de estas estructuras posee un manteo subvertical. No se observó mineralización en los diques.

Con respecto a las estructuras de deformación, en el cuerpo intrusivo se encontraron zonas con harina de falla (*fault gouge*) y espejos de falla. También se observaron zonas con fuerte deformación frágil, evidenciando un fuerte fracturamiento y cambios de orientación en secuencias sedimentarias. En el mapa mostrado en la Figura 16 se observan las estructuras antes descritas.

La roca hospedante de casi la totalidad de las vetas de cuarzo y diques encontrados corresponde a un cuerpo intrusivo de litología granítica. Este cuerpo posee textura fanerítica, se compone mayoritariamente de cuarzo, con porcentajes que alcanzan los 90% en algunas zonas. Junto con el cuarzo, se observan en menor cantidad feldespatos, biotita, sericita y arcillas. En contacto con el cuerpo intrusivo se tiene una unidad volcánica de color gris oscuro, con mineralogía difícil de determinar en muestra de mano. Esta unidad presenta un leve magnetismo y zonas en las que se observó cloritización, epidotización y vetillas de cuarzo milimétricas. Por último, se pudo identificar una secuencia sedimentaria compuesta por areniscas y, en menor medida, lutitas. En la secuencia volcánica y sedimentaria se encontraron afloramientos pertenecientes al cuerpo intrusivo. Estos afloramientos no poseen grandes extensiones, del orden de decenas de metros cuadrados y litología similar al cuerpo granítico.

La alteración hidrotermal observada se encuentra principalmente asociada a las vetas de cuarzo. Tanto en las vetas como en el cuerpo intrusivo se puede observar la asociación mineral cuarzo – sericita-pirita. En gran parte de las estructuras la pirita se encuentra oxidada, pudiéndose observar también jarosita, goethita y hematita. Por otro lado, en la unidad volcánica se tiene cloritización y epidotización, esta última asociada a vetillas de cuarzo con potencias inferiores a 1 cm.



Figura 17. Muestra 3D6P69 de vetillas de cuarzo hospedadas en el cuerpo intrusivo. La roca caja posee tonos verdosos debido a la presencia de abundante sericita con esos tonos. También se pueden observar cristales milimétricos de pirita euhedrales a subhedrales.

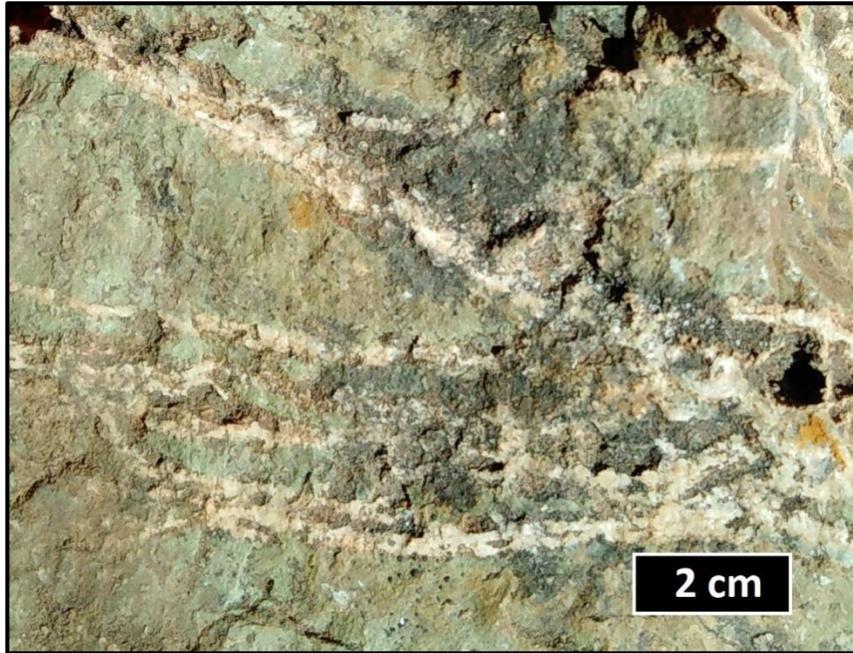


Figura 18. Muestra Lava 34 de la unidad volcánica que se encuentra en contacto con el cuerpo intrusivo. La muestra posee una fuerte epidotización y abundantes vetillas de cuarzo.

La mineralización observada se encuentra exclusivamente en las vetas de cuarzo hospedadas en el cuerpo intrusivo. En estas estructuras se encontró oro nativo (electrum?), pirita, arsenopirita, galena, esfalerita y pirargirita. Como se puede ver en las Figuras 17, 19 y 20, la mineralización se encuentra diseminada en las vetas de cuarzo, asociada a óxidos e hidróxidos de hierro en algunos casos y sin una distribución uniforme.



Figura 19. Muestra de veta de cuarzo lechoso con mineralización de galena y óxidos de hierro.

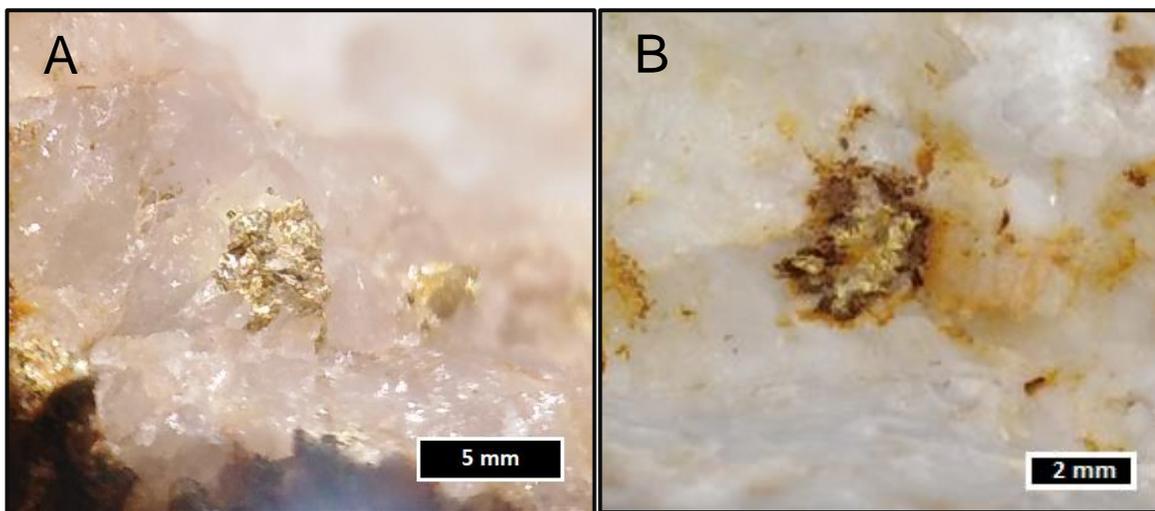


Figura 20. Fotografía de muestras VA-04 con mineralización de oro/electrum en vetas de cuarzo. En A se observa electrum diseminado entre cristales euhedrales a subhedrales de cuarzo, mientras que en B el electrum se asocia a óxidos de hierro.

5.2 Mini-stage

Se utilizó el mini-stage para verificar la presencia de CO₂ en un total de 28 muestras de cuarzo pertenecientes a las vetas que fueron mapeadas en superficie. Algunas mediciones se realizaron en dos o tres oportunidades debido a que no todas las veces se lograban ver la burbuja en el mini-stage o por dificultades para utilizar este instrumento.

Del total de muestras analizadas, en 22 fue posible observar burbujas de CO₂ en la glicerina (Tabla 1 y Figura 21)

Tabla 1. Resultados obtenidos en el mini-stage.

Muestra	CO2
211.A	Si
221.A	Si
221.B	Si
223.A	Si
223B	No
223C	Si
225B	No
225C	Si
3112	Si
3171	Si
3113D	Si
3113E	Si
3113F	Si
3113G	Si
326.A	Si
3D2P2	No
3D2Pc8	Si
3D2P11	No
3D3P27-1	No
3D4P36-2	Si

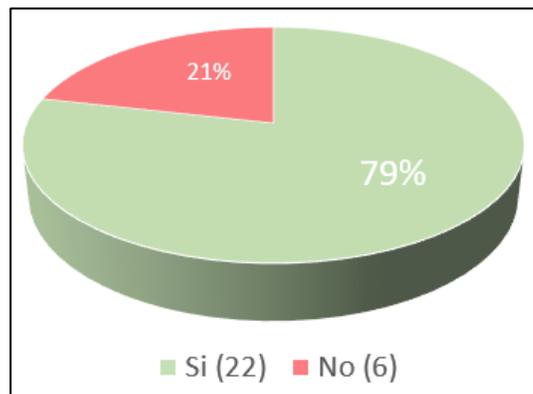


Figura 21. Resultados obtenidos con el mini-stage, en donde un total de 22 muestras presentaron evidencias de burbujas de CO₂ en la glicerina.

3D4P46	Si
3D6P66	Si
3D6P74	No
3D6P75	Si
424B	Si
424C	Si
VA-J1	Si
VC-J2	Si

5.3 Petrografía

Posterior al trabajo realizado en terreno, se realizó una descripción microscópica para caracterizar petrográficamente la roca caja, basándose en su litología y alteración. Para esto se realizaron descripciones de cortes transparentes de distintos afloramientos del cuerpo intrusivo, unidad volcánica y secuencia sedimentaria. La descripción detallada de estos cortes se encuentra en el Anexo A. Sumado a lo anterior, se realizó la caracterización textural y mineralógica de las vetas de cuarzo encontradas en superficie, para esto se describieron muestras *quickplates* y cortes doble pulido, las cuales se encuentran detalladas en el Anexo B.

5.3.1 Petrografía roca caja

En los cortes estudiados del cuerpo intrusivo hospedante de las vetas de cuarzo, se observó que éste se compone mayoritariamente de cuarzo anhedral con buena integridad en porcentajes que varían entre un 60 y 90%. Junto con el cuarzo se tiene ortoclasa, plagioclasa, microclina, micas blancas y, en muy bajas cantidades, biotita. Los feldespatos se observan subhedrales y anhedrales, presentan un mala integridad y gran parte de estos están alterados a sericita (Figura 22). Se observaron texturas de exsolución en cuarzo y en feldespatos, textura consertal entre cristales de cuarzo y textura fanerítica entre los cristales que se intercrecen en la totalidad de las muestras.

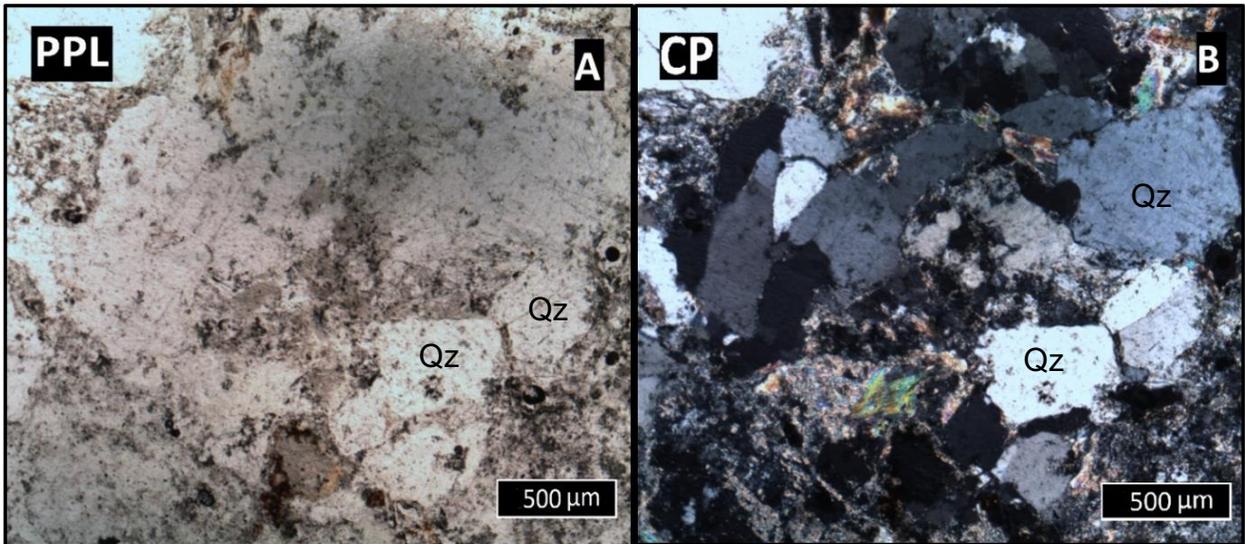


Figura 22. Cortes transparentes del intrusivo que hospeda las vetas de cuarzo. Se reconocen cristales de cuarzo en una textura fanítica con y feldspatos alterados. PPL: Nicoles paralelos. CP: Nicoles cruzados

En la unidad volcánica se realizaron cortes transparentes a dos muestras de interés, las cuales presentaban una posible alteración hidrotermal. La primera (Figura 23) posee una textura obliterada, presencia de epidota en toda la muestra y vetillas de cuarzo con textura peineta. Estas vetillas son levemente sinuosas, discontinuas, se cortan unas con otras, no poseen un halo de alteración y tampoco mineralización observable en microscopio óptico.

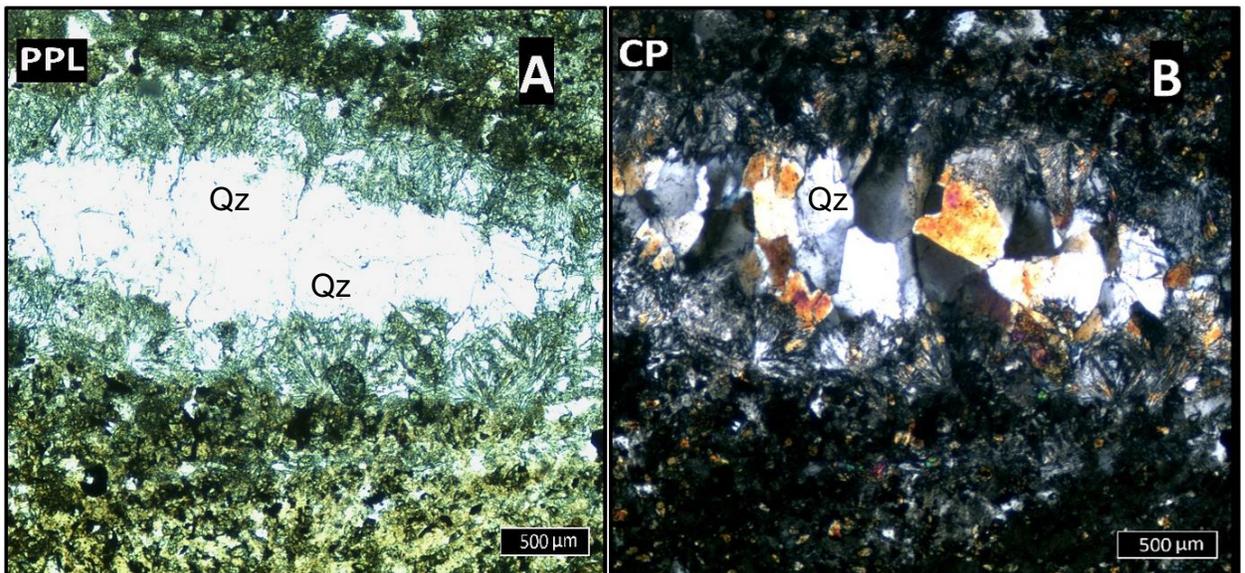


Figura 23. Muestra de la unidad volcánica epidotizada. En el centro las imágenes se observa una vetilla de cuarzo, PPL: Nicoles paralelos. CP: Nicoles cruzados.

La segunda muestra estudiada de la unidad volcánica corresponde a una muestra de textura porfírica. Los fenocristales se encuentran completamente alterados a sericita

y la masa fundamental totalmente cloritizada. También se observaron abundantes agregados de color marrón, con núcleo más oscuro y bordes más claros, de procedencia desconocida, con aspecto de peloides, morfología redondeada, tamaños de pares de centenas de micrómetros y sin variación de sus colores entre nícoles paralelos y nícoles cruzados. Otra particularidad de este corte son los metadominios de clorita-calcita en asociación. En la Figura 24 se puede observar clorita en una amigdala o metadominio, mientras que la calcita se puede reconocer por su pleocroísmo de relieve.

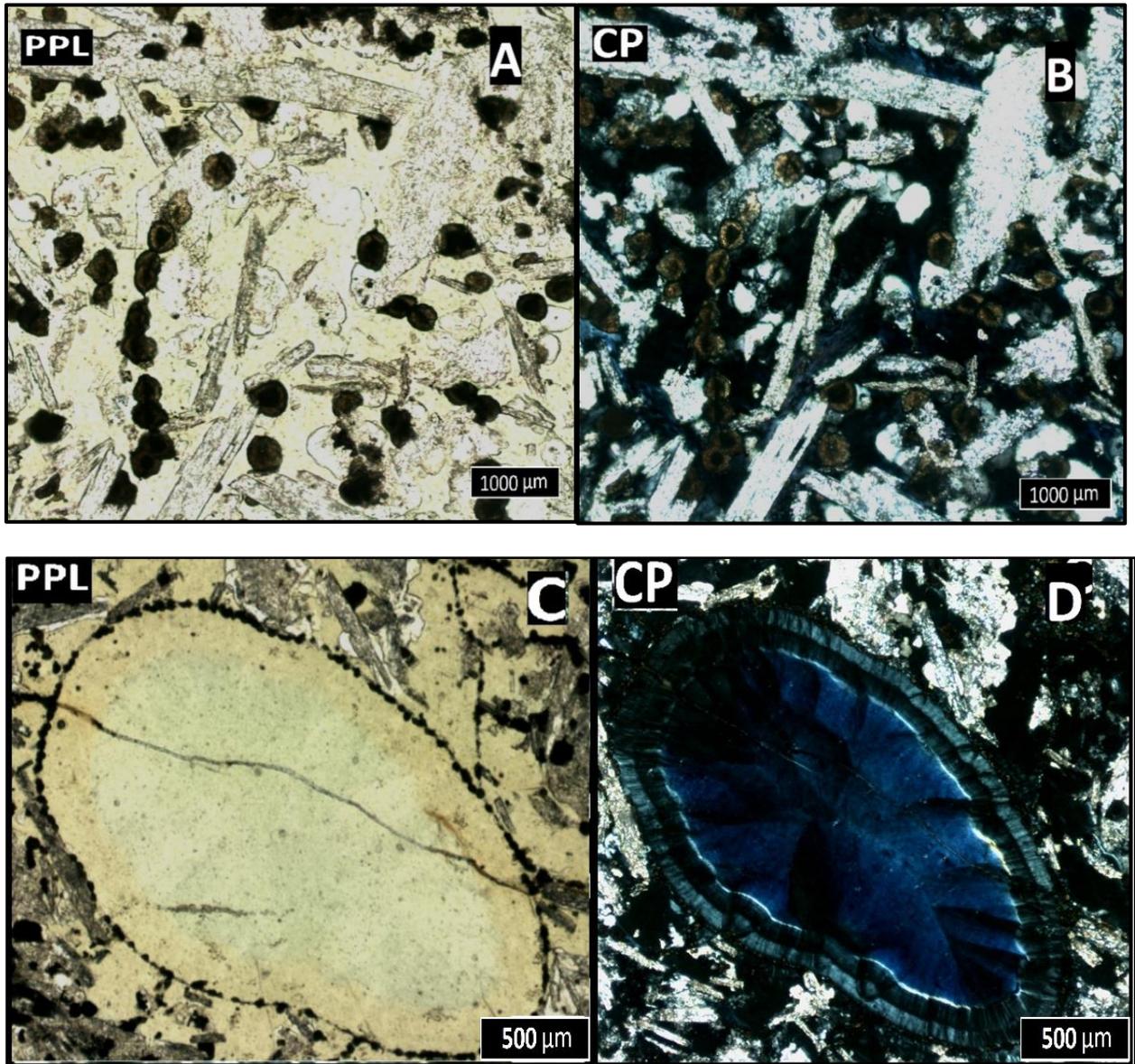


Figura 24. En (A) y (B) se muestra la unidad volcánica cloritizada, en la que se aprecian posibles feldspatos que fueron sericitizados. En (C) y (D) se muestran metadominios de clorita. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.

Las dos muestras estudiadas de la secuencia sedimentaria corresponden a una roca siliciclástica compuesta mayoritariamente por cuarzo, con porcentajes entre un 80 y

85% y, en menor medida, feldespatos alterados y micas blancas. Los clastos se observan sub angulosos a sub redondeados, con límites cóncavos-convexos entre ellos y, en general, las muestras estudiadas poseen una selección moderada a buena. La matriz de la roca posee un aspecto más arcilloso que micrítico mientras que el cemento se asocia a óxidos de hierro. Con respecto a la madurez composicional, la abundancia de cuarzo indica que esta es alta, mientras que los criterios de selección y redondeamiento indicarían una madurez textural media a alta.

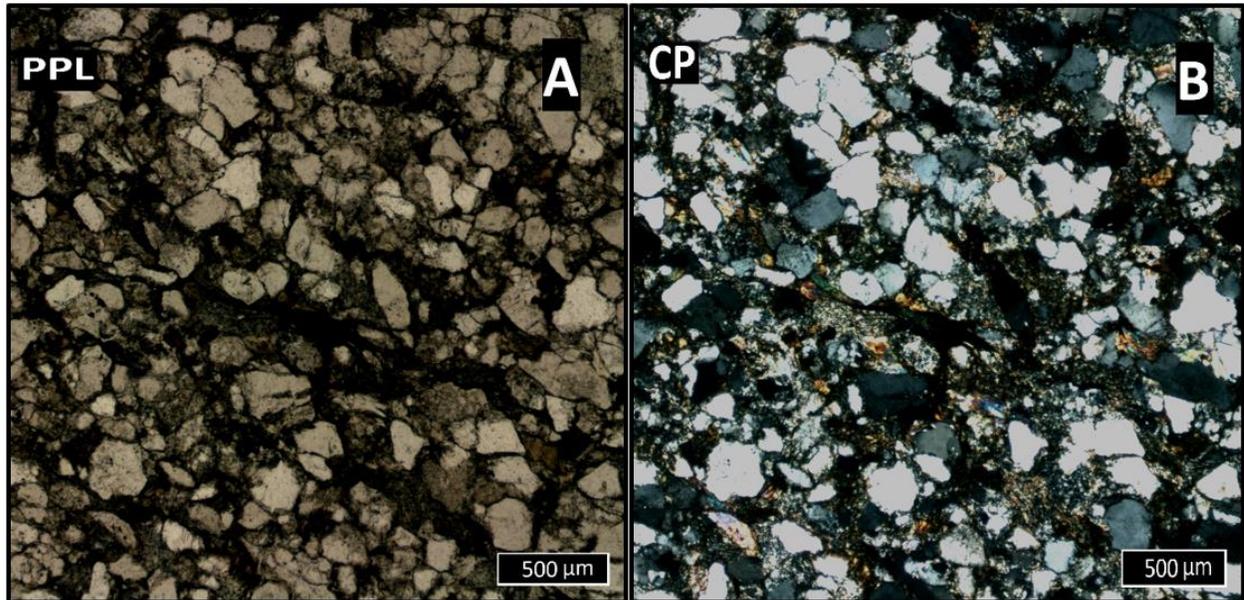


Figura 25. Muestra de la secuencia sedimentaria siliciclástica que se encuentra en contacto con la unidad volcánica. Se reconocen cristales de cuarzo, feldespatos alterados y micas blancas en una matriz arcillosa. PPL: Nicoles paralelos. CP: Nicoles cruzados.

5.3.2 Mineralización

Todas las vetas estudiadas se componen casi exclusivamente de cuarzo como mineral de ganga. En todas las vetas se reconoció la textura *jigsaw* y cuarzo euhedral. También se observaron las texturas *faethery* (?) y *peineta* (Sander & Black, 1988, Dong et al., 1995 y Moncada, et al., 2012), en un ~40%, ~55% de las muestras, respectivamente. Resulta importante mencionar que estas texturas fueron descritas para sistemas epitermales, por lo que en el presente estudio se utiliza su definición y nomenclatura para identificarlas y no para realizar una interpretación acerca de procesos de ebullición en capítulos posteriores.

La textura *jigsaw*, reconocida en todas las vetas estudiadas, se observa en vetillas, entre cristales euhedrales y también como matriz. Corresponde a un agregado microcristalino de cuarzo, con cristales anhedrales intercrecidos, de bordes irregulares y tamaños que varían entre los 50 y 150 µm. Esta textura se observa en contacto con las otras texturas observadas y también se asocia a mineralización metálica. Se observa

como una masa homogénea en nícoles paralelos, pero en nícoles cruzados se distingue por los distintos colores de interferencia entre los cristales.

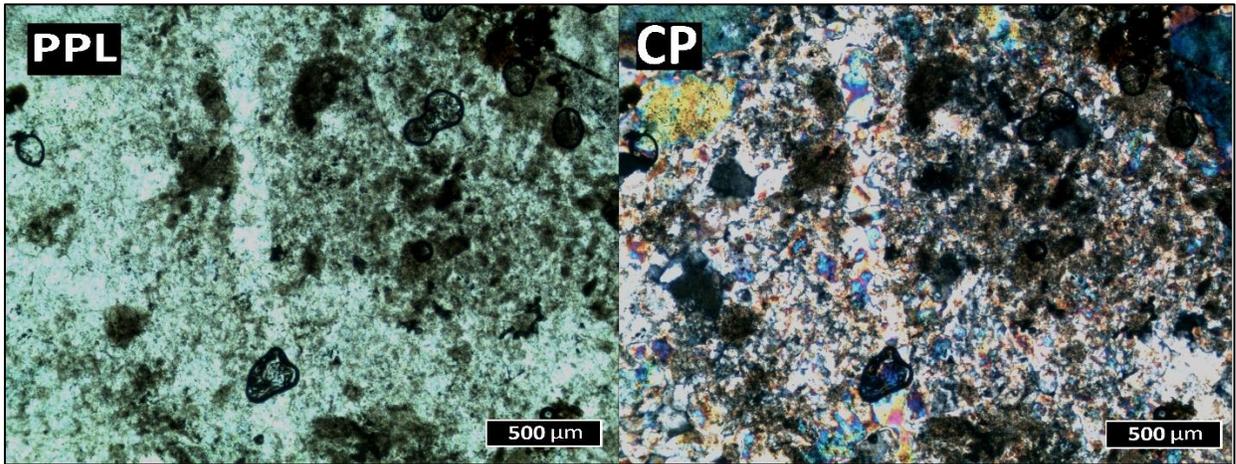


Figura 26. Textura de cuarzo jigsaw. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.

El cuarzo euhedral también se reconoce en todas las muestras estudiadas. Corresponde a cristales individuales euhedrales a subhedrales de cuarzo, con tamaños que varían entre los 500 y 5000 μm , distinguibles por desarrollar parcial o completamente sus seis caras cristalinas. Se puede reconocer en nícoles cruzados por sus contactos nítidos, diferentes colores de interferencia y su extinción. En nícoles paralelos se reconocen por la presencia de inclusiones fluidas primarias que crecen paralelamente a sus caras cristalinas. En esa textura se reconoció mineralización aurífera diseminada entre cristales.

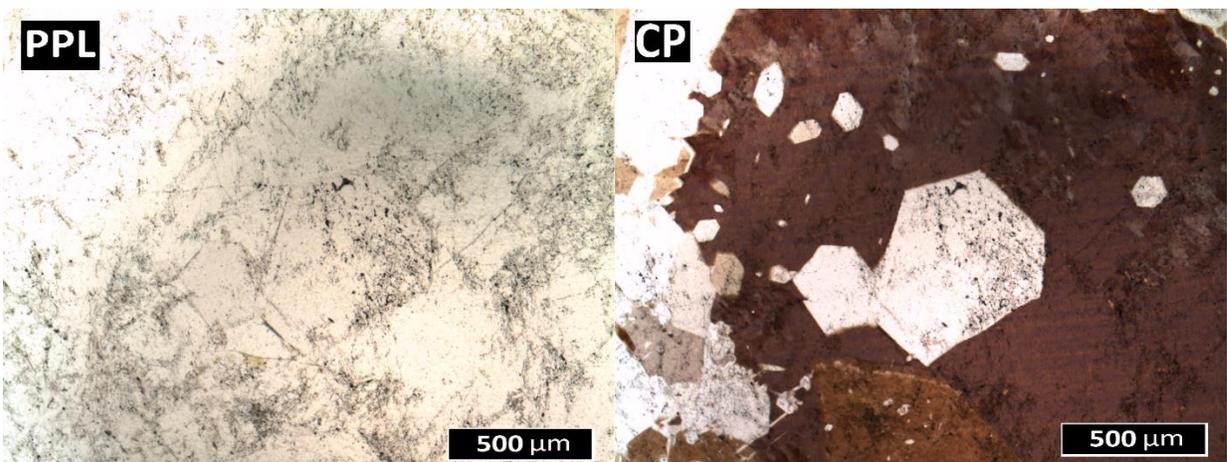


Figura 27. Textura de cuarzo euhedral. PPL: Nícoles paralelos. CP: Nícoles cruzados.

La textura *faethery* (?), sólo se puede reconocer a nícoles cruzados en los bordes de cristales euhedrales y subhedrales en contacto con vetillas de cuarzo jigsaw que

cortan al curazo euهدral o en zonas cercanas a estas vetillas. Se distingue cuando estos cristales alcanzan su máxima extinción, observándose zonaciones con extinción radial de carácter fibroso en algunos casos.

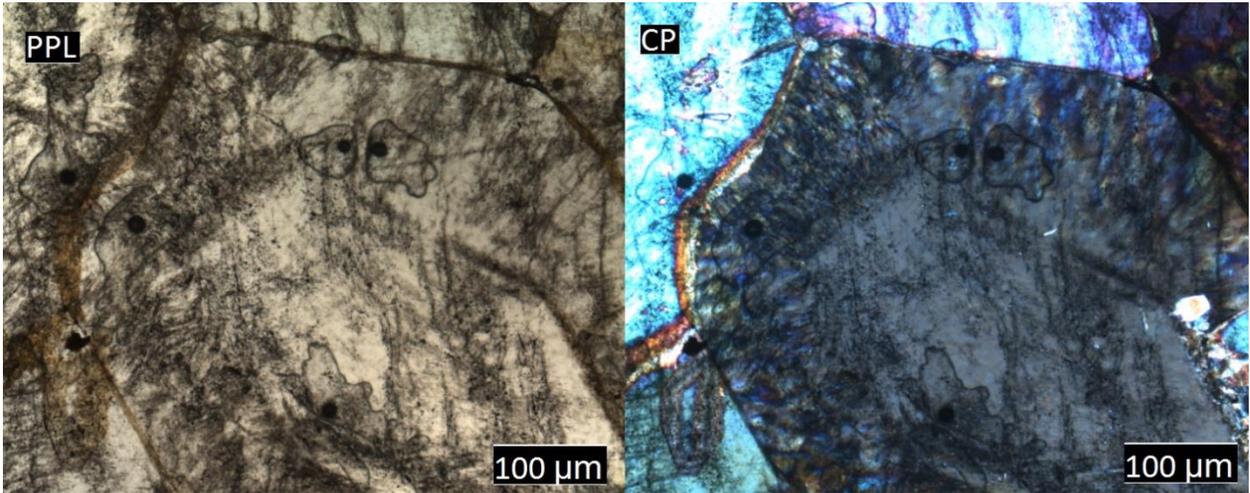


Figura 28. Textura de cuarzo faethery observado en cristales de cuarzo. PPL: Nicoles paralelos. CP: Nicoles cruzados.

El cuarzo peineta se observa como grupos de cristales paralelos a subparalelos de tamaño similar, los que crecen perpendiculares a las paredes de microfracturas y poseen terminación euهدrales a subهدrales en el extremo libre del cristal. Esta textura de cuarzo se observa exclusivamente en zonas de fracturas y microfracturas.

Junto con la mineralogía descrita en los párrafos anteriores, se encontró presencia de limonitas (jarosita y goethita) y hematita. Se observaron de manera diseminada, en vetillas y en cúmulos relleno de cavidades. Las vetillas poseen anchos micrométricos a milimétricos, de morfología sinuosa y discontinua, desarrollándose inmersas en la matriz de cuarzo *jigsaw* y relleno de fracturas dentro de cristales de cuarzo euهدral. En el cuarzo peineta se encontraron óxidos de hierro relleno de espacios abiertos, pero este se asocia a procesos de transporte mecánico debido a procesos de alteración supérgena y meteorización.

Con respecto a la mineralización metálica observada, se tiene que existe escasa presencia de sulfuros en las vetas de cuarzo. El principal mineral distinguible corresponde a pirita diseminada subهدral a euهدral, con cristales cúbicos de tamaño milimétrico a micrométrico. También se distinguió arsenopirita, galena, esfalerita y pirargirita en zonas puntuales. Todos estos minerales fueron observados en cantidades muy bajas ~1%, con excepción de la galena que se pudo apreciar en cantidades levemente mayores en rodados de cuarzo.

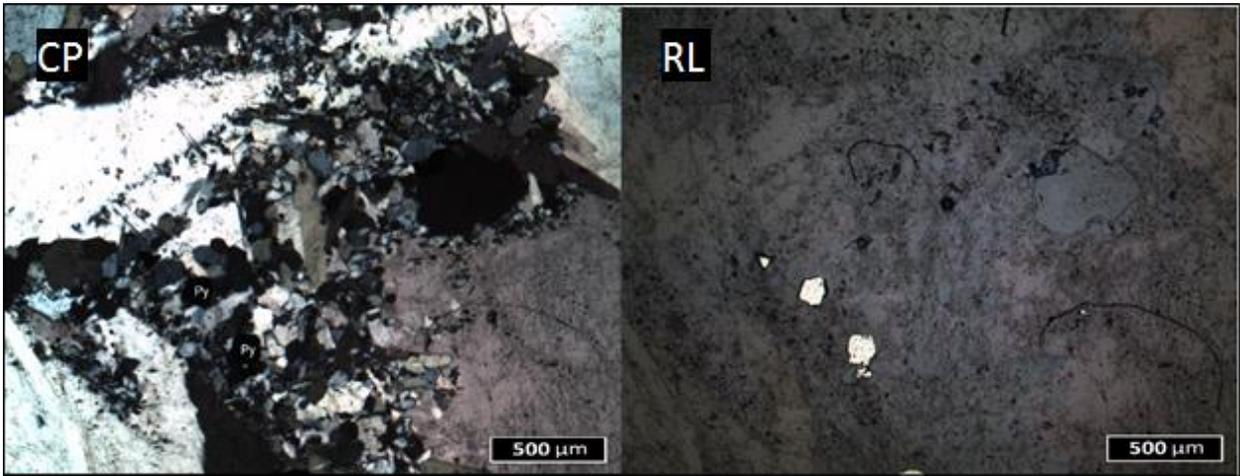


Figura 29. Cuarzo jigsaw con mineralización de pirita cortando cuarzo euهدral. CP: Nicoles cruzados RL: Luz reflejada.

La mineralogía metálica de mayor importancia observada corresponde a oro nativo y/o electrum. Como se ve en la Figura 30 se puede distinguir la presencia de electrum anhedral diseminado entre cristales euهدrales de cuarzo, con tamaños cercanos a los 50 µm en las muestras estudiadas, mientras que en muestras de mano estas partículas alcanzan tamaños milimétricos. También se encontró mineralización de electrum en una inclusión fluida, resultado que se expone en la siguiente sección.

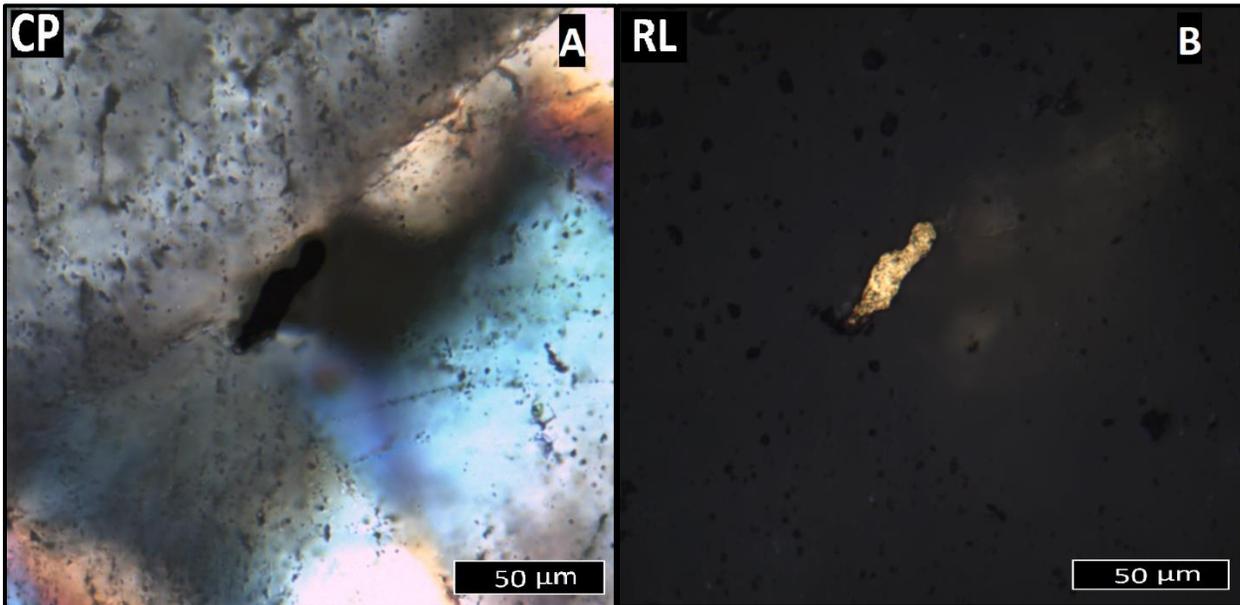


Figura 30 Mineralización de electrum diseminado entre cristales de cuarzo euهدral. CP: Nicoles cruzados RL: Luz reflejada.

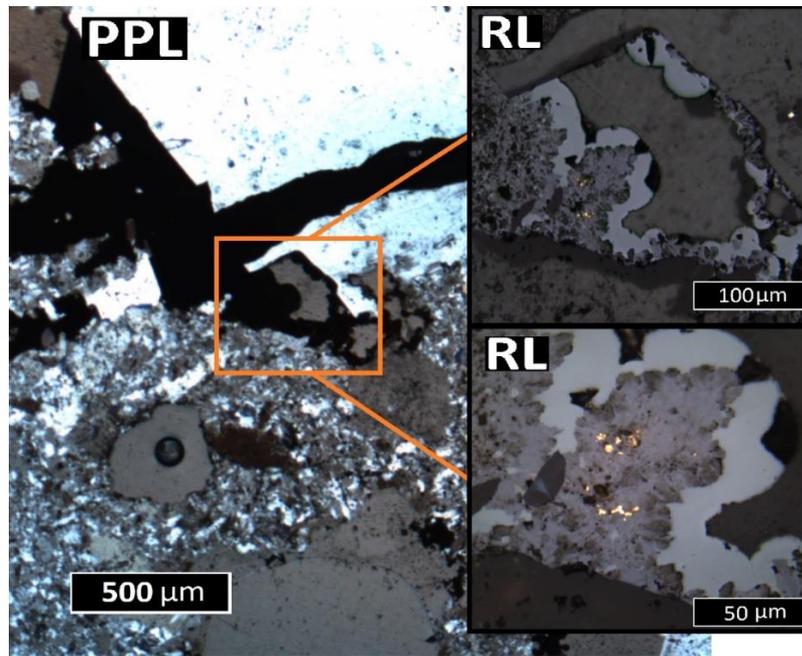


Figura 31. Mineralización de electrum diseminado entre óxidos de hierro. CP: Nícoles cruzados RL: Luz reflejada.

5.4 Petrografía de inclusiones fluidas

La totalidad de *Fluid Inclusion Assemblages (FIAs)* o arreglos de inclusiones fluidas presentadas en esta sección fueron observados en cristales de cuarzo. Las descripciones realizadas se basan en el origen de las FIAs, es decir, si son primarias o secundarias, y las características que presentan a temperatura ambiente. A continuación, se presentan los tipos de FIAs encontrados.

- (A) FIAs ricas en líquido con razón líquido – vapor consistente.
- (B) FIAs ricas en CO₂.
- (C) FIAs ricas en líquido con razón líquido – vapor consistente, coexistiendo con inclusiones ricas en vapor.
- (D) FIAs ricas en vapor.

Junto con las FIAs mencionadas anteriormente, también se encontraron abundantes arreglos de inclusiones decrepitados, inclusiones con presencia de sólidos e inclusiones accidentales, todos en cristales de cuarzo.

Las FIAs del tipo A se encontraron en todas las muestras estudiadas. Por lo general, los arreglos que estaban mejor preservados corresponden a FIAs tipo A primarias en cuarzo euhedral y peineta. Con tamaños que variaban entre 5 y 30 μm. Las inclusiones pertenecientes a las FIAs muestran una razón líquido-vapor consistente y se pueden observar creciendo paralelas a las caras cristalinas. Las FIAs del tipo A secundarias muestran tamaños menores a las primarias, alcanzando entre 2 y 10 μm,

observadas especialmente en cuarzo euهدral. En cuarzo jigsaw poseen tamaños inferiores y no se observaron en cuarzo peineta.

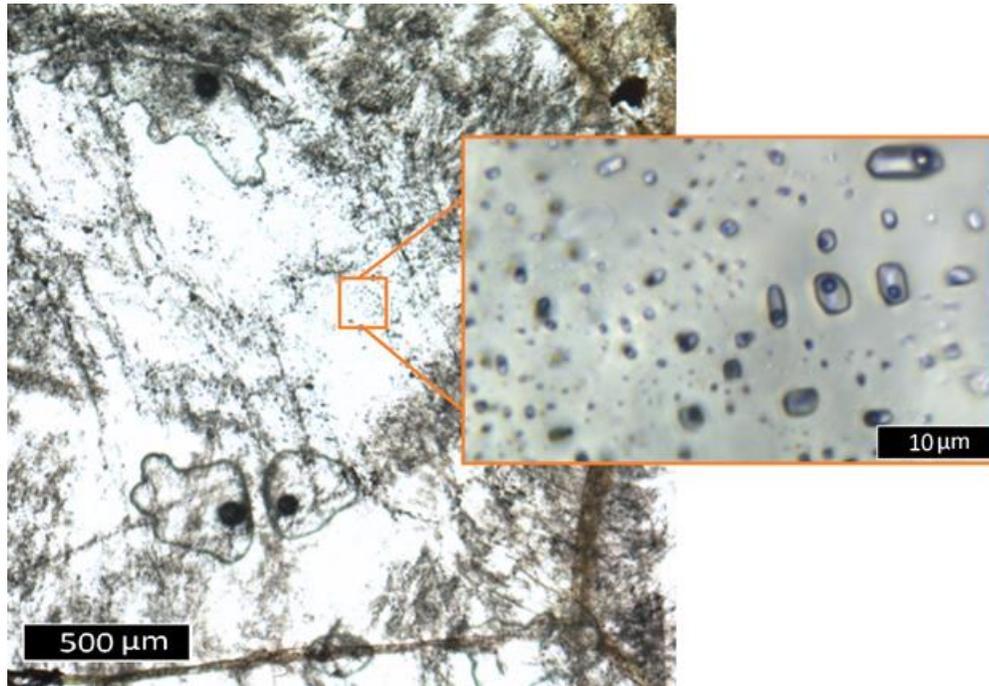


Figura 32. Arreglo de inclusiones fluidas primarias ricas en líquido en cuarzo euهدral.

Al igual que con las *FIA*s ricas en líquido, en todas las muestras se encontraron arreglos de inclusiones fluidas ricas en CO_2 . Estas se observan con sus tres fases características: CO_2 gaseoso, CO_2 líquido y H_2O líquido + electrolitos. Presentan tamaños superiores a todas las demás inclusiones estudiadas, con algunas que alcanzan los 30 μm de diámetro. Llama la atención que un porcentaje considerable de estas inclusiones se observan amorfas, sin la morfología ovalada característica de inclusiones hospedadas en cuarzo.

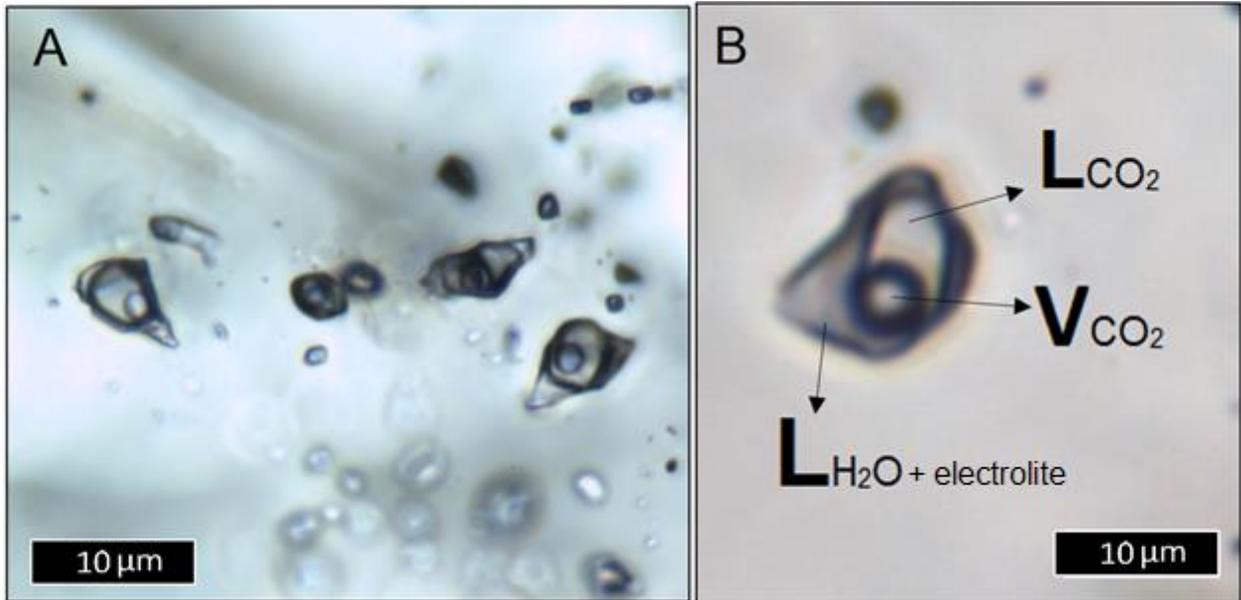


Figura 33. Arreglo de inclusiones fluidas ricas en CO_2 en (A), mientras en que (B) se muestra una de estas inclusiones con las fases observables: Liquid- CO_2 , Vapor- CO_2 y Liquid- H_2O .

Los arreglos de inclusiones tipo C, asociadas a procesos de ebullición, se encontraron en cuarzo euhedral y *jigsaw*. En el primero, las inclusiones poseen un mayor tamaño que en el segundo, pero frecuentemente se encontraban decrepitadas; mientras que, en el segundo, no se observaron numerosas FIAs decrepitadas, pero las que estaban bien preservadas poseen tamaños menores, bajo los 5 μm , lo que dificulta realizar petrografía. Las inclusiones observadas correspondían tanto a FIAs primarias como secundarias.



Figura 34. Arreglo de inclusiones fluidas primarias con coexistencia de inclusiones ricas en líquido e inclusiones ricas en vapor. Se hospedan en cristales de cuarzo euهدral y representan procesos de ebullición.

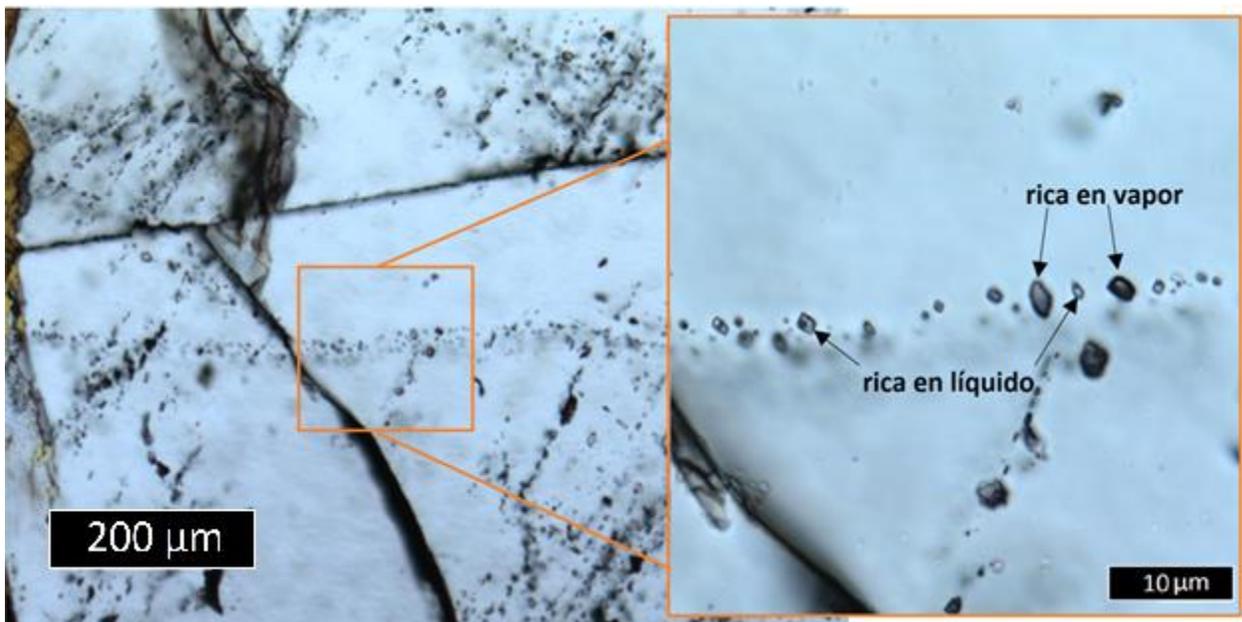


Figura 35. Arreglo de inclusiones fluidas secundarias con coexistencia de inclusiones ricas en líquido e inclusiones ricas en vapor. Se hospedan en cristales de cuarzo subهدral y representan procesos de ebullición.

Las *FIA*s más escasas observadas, pudiéndose reconocer solo tres en todas las muestras, corresponden a las ricas en vapor, asociadas a eventos de *flashing*. Estos arreglos se caracterizan por poseer inclusiones de tamaño menor a las expuestas anteriormente, por lo general, todas inferiores a los 5µm de diámetro. Se distinguieron estos arreglos en cuarzo euهدral, solamente en inclusiones secundarias.

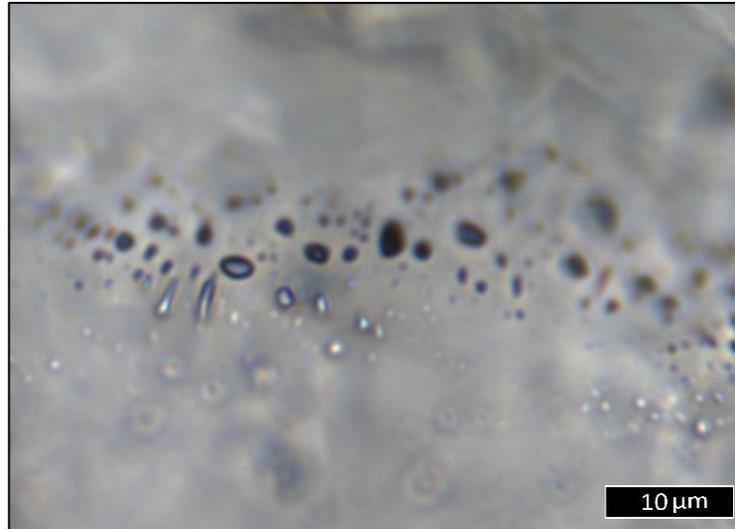


Figura 36. Arreglo de inclusiones fluidas secundarias ricas en vapor encontradas en cuarzo euهدral.

Por último, se encontraron inclusiones con presencia de sólidos en su interior. Uno de los sólidos reconocidos por el profesor guía del presente estudio, corresponde a *ilita* en inclusiones primarias y secundarias hospedadas en cuarzo euهدral. Esta se distingue por sus colores y birrefringencia al ser observada en *nícoles paralelos*.

Sumado a lo expuesto en el párrafo anterior, también se encontró la presencia de sólidos opacos en inclusiones primarias de cuarzo euهدral. Estos sólidos fueron vistos en los *quickplates* pertenecientes a la principal estructura mineralizada y también en un corte doble pulido, en el cual se observa un mineral dorado con alta reflectividad, probablemente oro nativo o *electrum* (Figura 37).

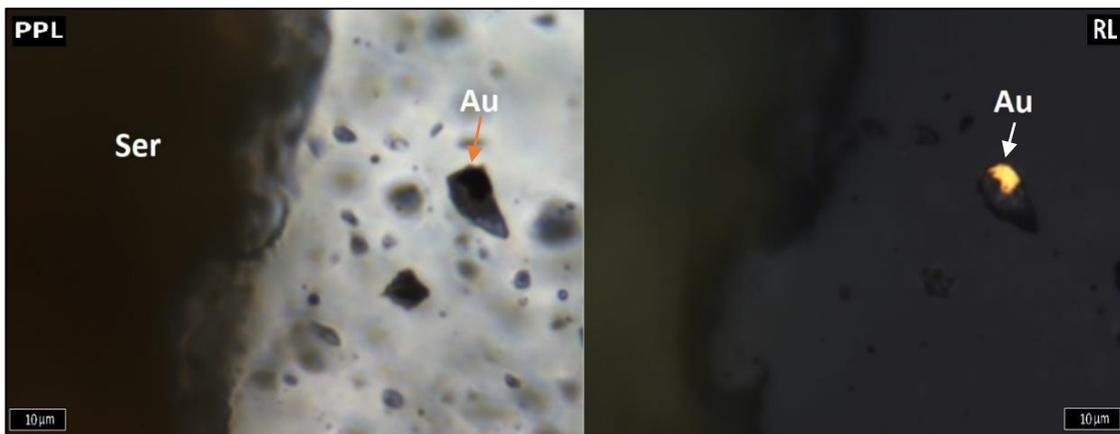


Figura 37. Inclusión primaria con presencia de *electrum*. Se hospeda en cuarzo euهدral. PPL: *Nícoles Paralelos*. RL: Luz reflejada.

5.5 Raman

Con el objetivo de encontrar la presencia de CO₂ y algún otro volátil que pudiera hospedarse dentro de las inclusiones, se realizó un estudio de espectroscopía Raman. Los resultados detallados del estudio, junto con los espectros obtenidos, se encuentra en el Anexo C.

Se estudiaron inclusiones primarias y secundarias ricas en CO₂ de acuerdo con las observaciones realizadas a temperatura ambiente. Con los espectros obtenidos, se utilizó la metodología desarrollada por Lamadrid et al. (2017) para determinar la presión promedio mínima y la densidad del CO₂. A continuación, se muestra un espectro característico, las ecuaciones utilizadas y resultados obtenidos a partir de estas.

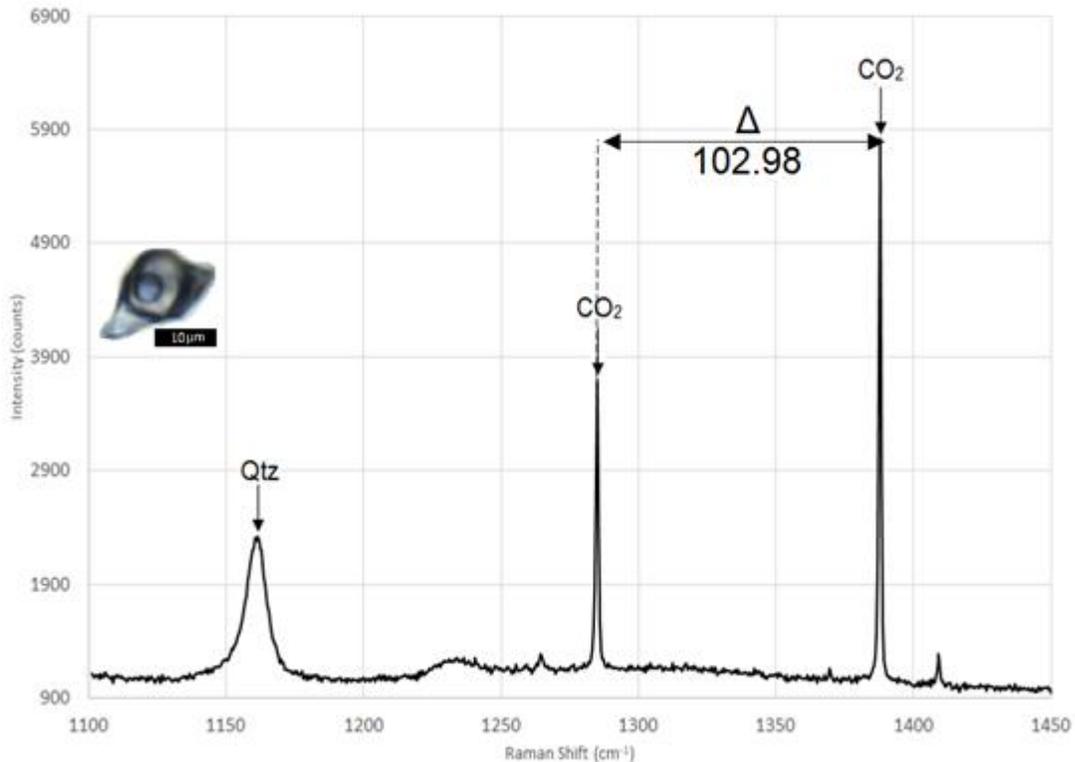


Figura 38. Espectro característico obtenido en el Raman para una inclusión rica en CO₂. Los dos peaks con mayor intensidad corresponden al CO₂, mientras que el de mediana intensidad a cuarzo.

$$P_{\text{psi}} = - 176.807,6 + (1.723,5547 \times \Delta) - 1.722,7765 \times (\Delta - 102,866)^2 \quad (1)$$

$$\rho = - 36,42055 + (0,354812 \times \Delta) \quad (2)$$

Δ es la diferencia del Fermi diad

$$\Delta_{\text{CO}_2}^{\text{Corrected}} = \left(\frac{\Delta_{\text{Ne}}^{\text{Known}}}{\Delta_{\text{Ne}}^{\text{Measured}}} \right) \Delta_{\text{CO}_2}^{\text{Measured}} \quad (3)$$

Para calcular la presión y la densidad, primero se corrige la diferencia del Fermi diad (Δ) obtenido. Esto se realiza según la ecuación (3), utilizando las líneas de emisión obtenidas de una lámpara de Neón ($55,7 \text{ cm}^{-1}$ y 1233 cm^{-1}) que se enciende simultáneamente al momento en el que se realiza el análisis Raman de las inclusiones ricas en CO_2 . Con el Fermi diad (Δ) ya corregido, se utilizaron las ecuaciones (1) y (2) y se obtuvo una presión promedio de 754 psi (51.9 bares) y una densidad de $0,361 \text{ g/cm}^{-1}$.

6. Discusiones

6.1 Evidencias en terreno.

Los resultados obtenidos del trabajo en terreno evidencian que las estructuras mineralizadas corresponden principalmente a vetas de cuarzo con escasa presencia de sulfuros (<3%), entre los que se observaron pirita, arsenopirita, galena y esfalerita. Mientras que en la zona norte de la principal estructura mineralizada se encontraron muestras con electrum.

Con respecto a la roca huésped, se tiene que ésta es un granitoide rico en cuarzo con escasa presencia de minerales máficos, encontrándose solo biotita en zonas puntuales. Gran parte de los afloramientos estudiados se encuentran disgregados, lo que se asocia a un fuerte proceso de meteorización que afecta principalmente a los feldespatos. Este cuerpo intrusivo forma parte del Basamento Cristalino de Chile Central, definido por Aguirre (1965), y se ubica en una franja con orientación general NS de cuerpos intrusivos Paleozoicos de dimensiones batolíticas.

Las mediciones de la orientación de las vetas de cuarzo indican que existe un control estructural en el sistema. Esto se puede ver graficado en la Figura 15, donde se observa que gran parte de las vetas posee un rumbo NNE-SSW, variando entre 0 a 30° hacia el E, con un dip que por lo general se describe como vertical a subvertical. Sumado a esto, se tiene que la estructura principal del proyecto se encuentra en la zona de falla que pone en contacto al cuerpo intrusivo con la secuencia volcánica, zona en la que se observó harina y espejos de falla.

La alteración que se pudo distinguir es principalmente sericitica, pudiéndose establecer la asociación cuarzo – sericita – pirita. En determinadas zonas se observa pirita diseminada tanto en la roca caja como en las vetas de cuarzo, sin superar el 5% de abundancia y, por lo general, asociada a sericita. No obstante, la alteración en la roca caja se observó en zonas estrechas, a pocos centímetros de las vetas.

La información obtenida en su conjunto durante el trabajo en terreno permite determinar que el depósito en estudio correspondería a uno del tipo orogénico (Groves et al, 1998), afirmación que también se sustenta en los estudios posteriores realizados, los cuales se discuten a continuación

6.2 Petrografía y paragénesis.

En la siguiente sección se expone la secuencia paragenética parcial desarrollada para las estructuras mineralizadas del Proyecto Joy. Cabe destacar que esta secuencia es parcial y no determinante del sistema completo, ya que solo incluye información de superficie y no cuenta con estudios previos.

La secuencia paragenética se basó principalmente en las relaciones de corte que poseen las texturas de cuarzo observadas, junto con la mineralización de mena asociada a cada textura. De la petrografía realizada, se pudo determinar que existen al menos 4 eventos distinguibles en el sistema hidrotermal.

El primer evento se atribuye al proceso en donde se origina el fluido hidrotermal, el cual se asocia a una exsolución de volátiles a partir de un magma en el que cristalizan fases que no incluyen volátiles en su estructura, como el cuarzo. Debido al alto contenido de CO₂ encontrado en el fluido, no se descarta que posea un componente metamórfico en su origen. Este fluido hidrotermal transporta y deposita metales en dos eventos distinguibles. El primero se asocia al cuarzo euhedral a subhedral, con cristales bien formados y mineralización diseminada de pirita, arsenopirita y electrum, mientras que el segundo a vetas y vetillas de cuarzo jigsaw con mineralización de electrum y sulfuros. Luego de estos eventos hidrotermales, se reconocen dos etapas post-mineralización: la primera caracterizadas por la presencia de cuarzo-epidota y clorita-calcita en la capa volcánica y, la segunda, por óxidos de hierro y limonitas. A continuación, se detallan los eventos por separado y también se muestran en la Figura 41.

Etapas pre-mineralización

Esta etapa corresponde al inicio del sistema hidrotermal y tiene relación con el origen de los fluidos. Ocurre durante la cristalización del magma granítico, cuando la fase residual se satura en volátiles y los exsuelve (second boiling). La petrografía de inclusiones fluidas y el análisis Raman, señalan que los principales fluidos presentes en el sistema son H₂O y CO₂.

De acuerdo con Ridley & Diamond (2000), quienes sostienen que la exsolución de volátiles a partir de un magma félsico es una de las formas en la que se puede generar fluidos capaces de transportar oro en los depósitos orogénicos, el oro se concentra en el fluido magmático como resultado de ser un elemento altamente incompatible durante la cristalización del magma granítico.

Una vez que el oro se encuentra en el fluido, las condiciones de alta presión y temperatura permiten que pueda ser transportado y precipitado en otro lugar. Cambios en el equilibrio del fluido con la roca huésped, como despresurización o disminución de la temperatura, pueden causar la precipitación del oro (Ridley & Diamond, 2000). Siendo estos cambios los que generan los eventos hidrotermales que se describen a continuación.

Etapas de Mineralización

Esta etapa se compone de dos eventos hidrotermales mineralizadores. Ambos eventos se caracterizan por la presencia casi exclusiva de cuarzo en sistemas de vetas con escasa mineralización de sulfuros. También destaca la presencia de sericita en este evento, en lo que se define como la asociación mineral característica del sistema, cuarzo – sericita – pirita.

La Etapa I corresponde a vetas y vetillas de cuarzo euhedral a subhedral, con menor presencia de cuarzo jigsaw, el cual no es representativo de esta Etapa I, pirita diseminada y sericita. Destaca en este evento la presencia de mineralización diseminada de electrum entre los cristales de cuarzo euhedral. Los arreglos de inclusiones fluidas permiten establecer que el fluido sería acuoso rico en CO₂, mientras que también se

sugiere que el fluido era rico en oro, ya que se encontraron inclusiones fluidas primarias con presencia oro/electrum en su interior. También se le atribuye a la Etapa I un evento de *boiling* evidenciado en inclusiones primarias ricas en líquido coexistiendo con ricas en vapor en los cristales de cuarzo euهدral.

La Etapa II, por su parte, destaca por la presencia de vetas y vetillas de cuarzo jigsaw cortando las estructuras formadas en la Etapa I. En las estructuras pertenecientes a la Etapa II, también destaca un aumento en la presencia de sulfuros, pudiéndose reconocer pirita, arsenopirita y zonas puntuales con galena y esfalerita. Sumado a lo anterior, se reconoce la textura *faethery* en cristales de cuarzo perteneciente a la Etapa I que son cortados o se encuentra en zonas cercanas a la Etapa II. Los arreglos de FIAs en cuarzo jigsaw son escasos y de pequeño tamaño. Sin embargo, la presencia de FIAs secundarias con evidencias de *boiling* en cristales de cuarzo euهدral de la Etapa I, permiten proponer un evento que quedó registrado en dichas FIAs.

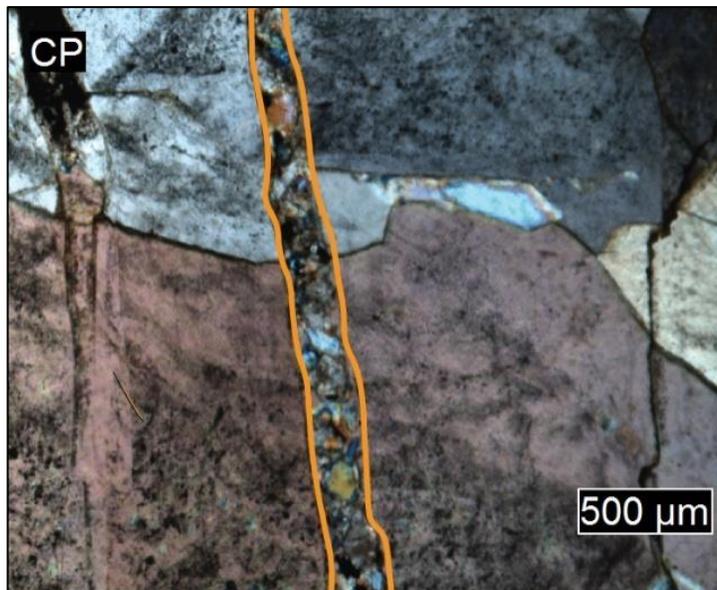


Figura 39. Cuarzo euهدral a subhedral cortado por vetillas de cuarzo jigsaw. Representan las etapas de mineralización del sistema.

Etapa post – mineralización.

Se divide la Etapa post – mineralización en dos subetapas, Etapa I y Etapa II. Ambas guardan relación con la finalización del sistema hidrotermal. La primera se caracteriza por una cloritización y menor epidotización de la unidad volcánica en contacto con el cuerpo intrusivo, mientras que la segunda corresponde al evento supérgeno en que se cambiaron las condiciones iniciales en que precipitaron los sulfuros, dando paso a la oxidación del sistema con presencia de limonitas y hematita.

Etapa I se asocia a un evento hidrotermal tardío, evidenciado en la presencia de texturas tardías de cuarzo, rellenando fracturas y espacios abiertos, como textura peineta. Las familias de inclusiones fluidas son primarias y ricas en líquido, sin evidencias de ebullición ni mineralización metálica reconocible en el evento. Sumado a esto, se tiene

la presencia de epidota relacionada a las vetillas de cuarzo y también la asociación clorita – calcita en la unidad volcánica suprayacente al cuerpo intrusivo.

La Etapa II es la última reconocida en el sistema y corresponde al fracturamiento y oxidación de las vetas y vetillas. Se tiene la presencia de limonitas y, en menor cantidad, hematita en las vetas de cuarzo que están expuestas en superficie. Esta etapa posee especial importancia ya que en las vetas de cuarzo con presencia limonitas, se puede encontrar mineralización importante de oro/electrum diseminado entre los óxidos de hierro (Figura 20B).

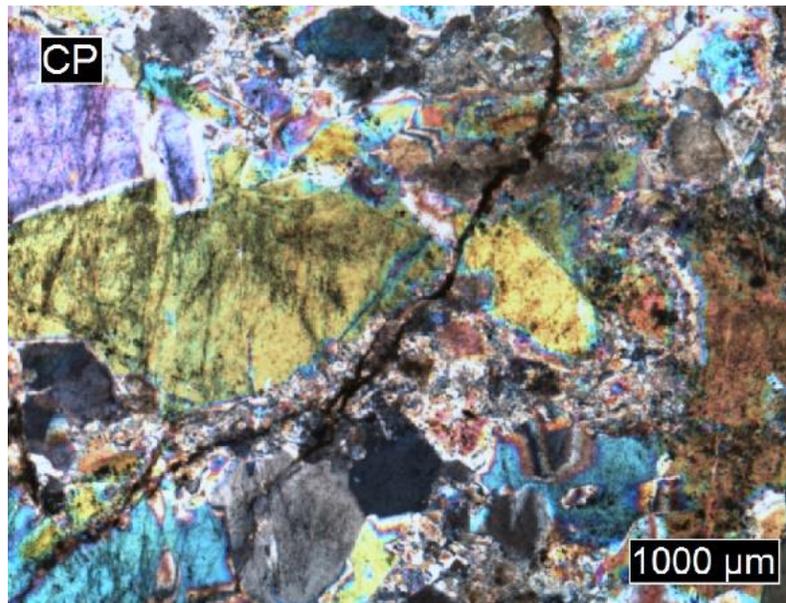


Figura 40. Vetillas de óxidos e hidróxidos de hierro cortando cuarzo jigsaw y cuarzo euhedral.

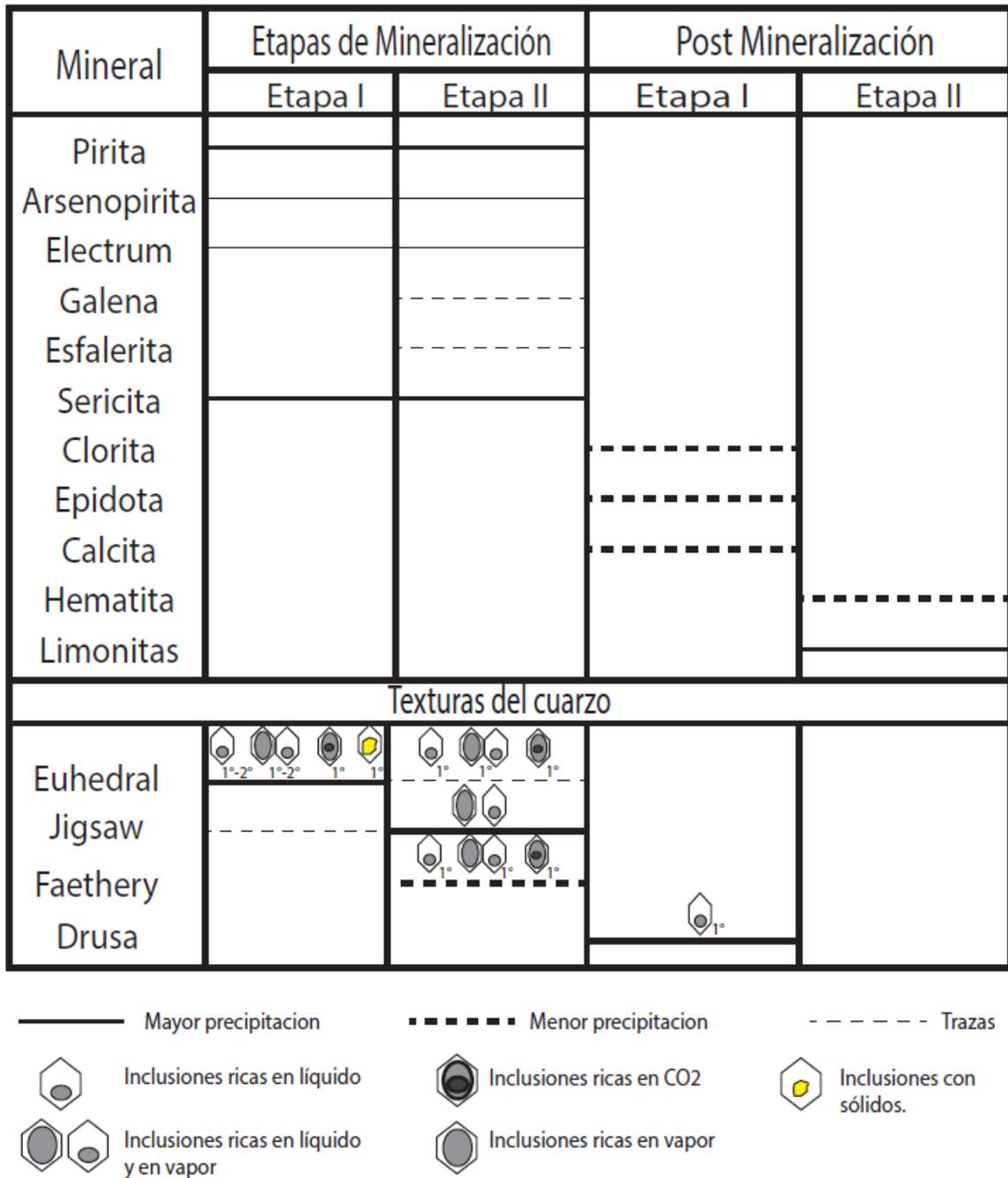


Figura 41. Paragénesis mineralógica y textural del sistema de vetas del Proyecto Joy. Se muestra la mineralización de mena y de ganga asociada a cada evento, junto con las texturas de cuarzo e inclusiones fluidas observadas en cada una de estas.

6.3 Evolución y caracterización del fluido.

La ausencia de información microtermométrica dificulta la comprensión y determinación de las condiciones P – T – X y de la evolución del fluido. Sin embargo, las mediciones obtenidas mediante el uso del Raman para inclusiones fluidas ricas en CO₂, sumado a estudios petrográficos, permiten establecer una evolución y caracterización parcial del fluido y de los mecanismos de precipitación.

Las inclusiones primarias encontradas en el cuarzo euedral, perteneciente a la primera etapa de mineralización, son inclusiones ricas en CO₂. Mediante la metodología desarrollada por Lamadrid et. al. (2017), se obtuvo una presión promedio mínima de atrapamiento para estas inclusiones de 51.9 bares, junto con una densidad de 0.361 g/cm³. Sin embargo, la presión mínima y la máxima obtenidas presentan una diferencia que sugiere una revisión más acabada de estos resultados. Un conjunto de datos arroja una presión mínima de 44 bares promedio, con una densidad de 0.39 g/cm³, lo que indicaría una profundidad de 1280 m. El conjunto de datos con presiones intermedias arroja un promedio 56 bares de presión y 0.34 g/cm³ de densidad, lo que indica una profundidad de formación del depósito de 1660 m. Por último, se tiene la presión de dos FIAs que arroja una profundidad mínima de atrapamiento de 3200 m.

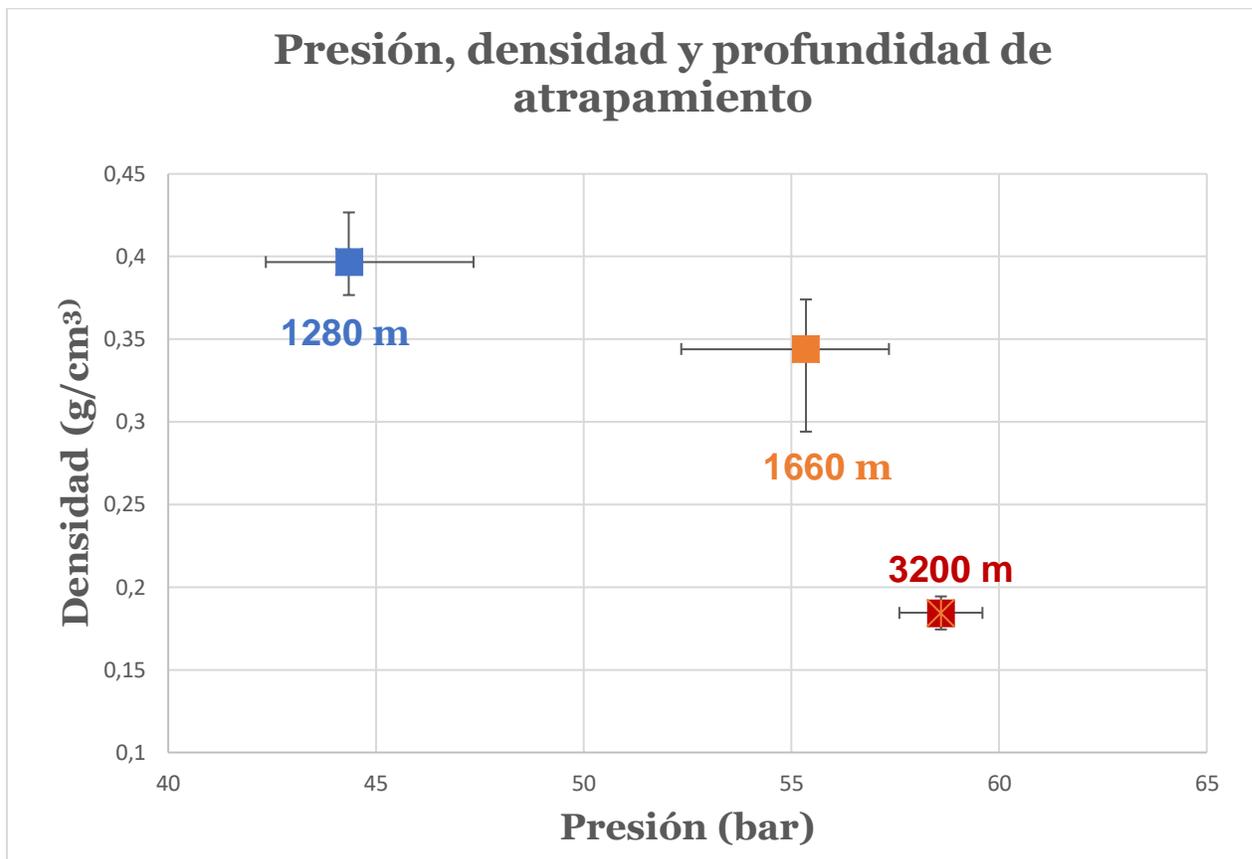


Figura 42. Gráfico Densidad versus Presión del fluido obtenido con la espectroscopía Raman. Cada cuadrado representa el promedio entre FIAs.

Los resultados obtenidos en la petrografía de inclusiones sugieren que el fluido mineralizador poseía una baja salinidad. Esto debido a que no se observaron arreglos de inclusiones fluidas con cristales de halita en su interior. Por lo anterior, se propone que el fluido posee salinidades en un rango menor al 10% en peso NaCl eq., en la porción del sistema estudiado.

Con respecto a las condiciones físicoquímicas del fluido hidrotermal, estas se pueden determinar a través del uso de la mineralogía de mena y ganga presentes en el sistema. En este punto, se tiene que las asociaciones de sulfuros son especialmente sensibles a los parámetros termodinámicos como temperatura, fugacidad y actividad de oxígeno y azufre, pH, Eh, entre otros. En el siguiente párrafo se detallan las condiciones determinadas con base en las asociaciones minerales observadas.

Asumiendo que la alteración predominante del sistema cuarzo – sericita – pirita, contiene illita como mineral que compone la sericita, se tendría la asociación cuarzo – illita que indicaría condiciones de pH cercano al neutro. Esto se condice con los diagramas C y D de la Figura 43, donde se bosquejan los campos de estabilidad para los minerales presentes en el sistema. Cabe señalar que la esfalerita solo se vio en zonas

puntuales, sin embargo, análisis geoquímicos realizados en las vetas de cuarzo arrojan un promedio de 3% de Zn. Por otra parte, la asociación pirita ± arsenopirita ± esfalerita ± galena permiten restringir la fugacidad de oxígeno (fO_2) a valores entre 10^{-36} y 10^{-40} (Figura 43 A, B Y D). Lo anterior implica que el fluido mineralizador responsable de la Etapa II dentro del evento mineralizador era reductor. Con respecto a la fugacidad de azufre (fS_2), las asociaciones minerales antes mencionadas la restringen a valores entre 10^{-8} y 10^{-12} .

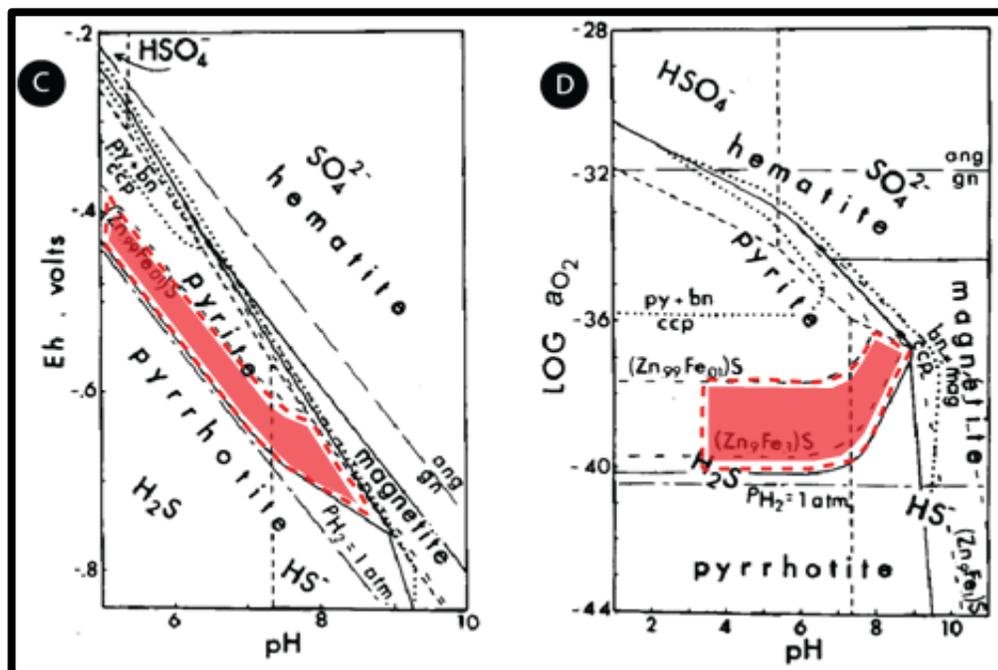
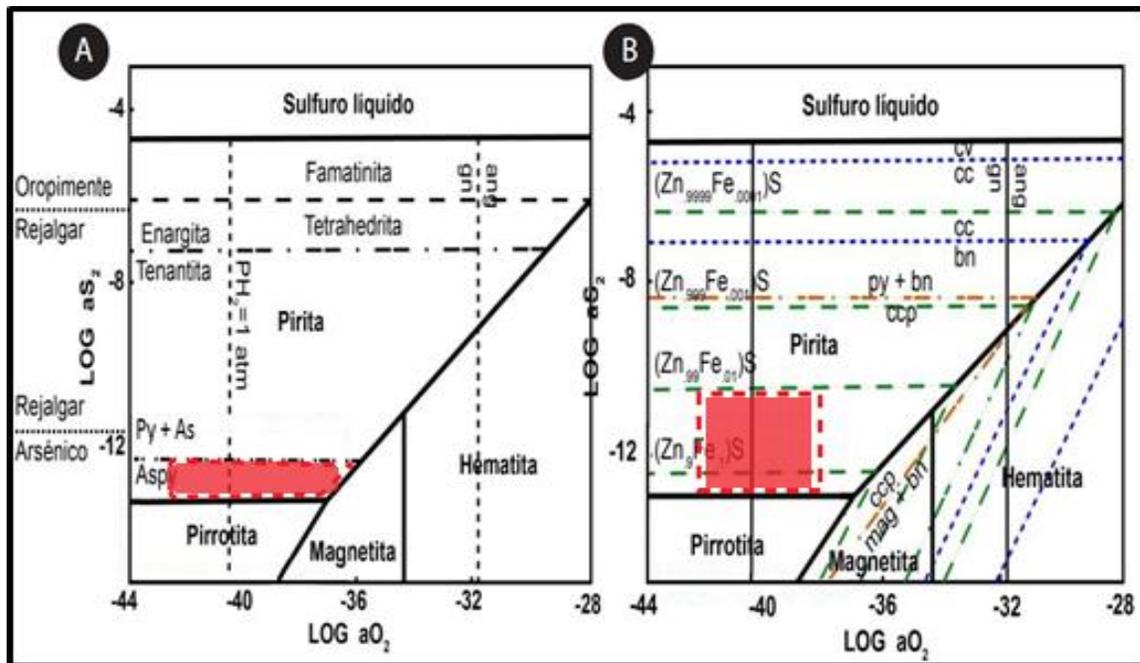


Figura 43. (A) Diagrama de estabilidad para sistema Fe-S-O (línea gruesa), para sulfosales de Sb (línea punteada) y As (línea punteada-punto), para el sistema As-Fe (línea punteada-doble punto) y para el sistema As-S (línea a puntos). (B) Diagrama de estabilidad para el sistema Fe-S-O en línea gruesa, el sistema Cu-Fe-S-O en línea punteada dorada, el sistema Cu-S en línea punteada azul, y el porcentaje de Fe en esfalerita en línea punteada verde. A temperaturas de 250°C y presión de vapor de 40 bar. En rojo, condiciones fisicoquímicas del fluido. Ang: anglesita; gn: galena; ccp: calcopirita; cc: calcosina; cv: covelina; bn: bornita; py: pirita; mag: magnetita; aspy: arsenopirita. Modificado de Barton & Skinner (1979). (C) y (D) Diagramas de estabilidad Eh vs. pH y aO₂ vs. pH para el sistema Fe-S-O, para el sistema Cu-Fe-S y para contenido de Fe en esfalerita a 250° y presión de vapor = 40 bares (tomado de Barton y Skinner, 1979)

Siguiendo con la caracterización del fluido hidrotermal en estudio y como se mencionó anteriormente, se tiene que este es rico en CO₂ y se asume que posee baja salinidad. De acuerdo con lo anterior y lo propuesto por Bodnar et al. (2013) en un estudio de fluidos hidrotermales para depósitos orogénicos, se interpreta que las FIAs estudiadas con estas características representan al fluido mineralizador, lo que se condice con los análisis geoquímicos y petrográficos. En esta línea, se propone que el CO₂ posee un rol indirecto en el transporte de oro, ya que sirve como buffer de pH que estabiliza los complejos bisulfurados de oro (Phillips and Evans, 2004). Por lo anterior, se propone que el mecanismo de transporte para metales preciosos en la porción del sistema estudiado corresponde a complejos sulfurados. Sin embargo, no se descarta que en zonas más profundas o con mayor concentración de Cl⁻, el mecanismo de transporte se asocie a complejos clorurados.

En lo que respecta al mecanismo de precipitación de los metales preciosos, las observaciones de FIAs con presencia de inclusiones ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor evidencian procesos de ebullición. Sumado a esto, la presencia de una FIA con inclusiones ricas en vapor sugiere que ocurrió un evento de *flashing*, proceso en el que gran parte del fluido pasó a la fase gaseosa de manera casi instantánea (Brown, 1986). No obstante, este resultado no es representativo del sistema, por lo que su interpretación debe ser tomada con cautela.

Sumado a lo anterior, también se tiene que procesos de despresurización evidenciado en los análisis Raman serían los responsables de gatillar una precipitación mineral, evento que iría de la mano con una separación de fases. Esta despresurización se asocia al mecanismo de válvula de falla (Sibson et al., 1988; Cox et al., 1995; Robert et al., 1995), en el que fallas de alto ángulo generan fracturas que permiten la fluctuación cíclica en la presión del fluido.

6.4 Implicancias para la exploración

La evidencia en terreno indica que las zonas con mejor mineralización aurífera poseen abundante presencia de la asociación mineral sericita – pirita en zona próximas a las vetas de cuarzo. Sin embargo, esta alteración no posee gran extensión en la roca caja, alterando desde centímetro a pocos metros a partir de la pared de la veta, por lo que no resulta útil como guía de exploración para escalas mayores.

Las zonas de mayor interés se caracterizan por presentar cuarzo euهدral – subهدral con FIAs primarias ricas en CO₂, inclusiones primarias con presencia de oro (electrum?), evidencias de ebullición y abundantes FIAs secundarias cortando gran parte de los cristales euهدrales y subهدrales de cuarzo. A esto se le debe añadir la presencia de vetas y vetillas de cuarzo jigsaw con escasos sulfuros diseminados, las cuales cortan los eventos de cuarzo euهدral. En las zonas de contacto entre ambos eventos se puede reconocer cuarzo faethery, el cual también se asocia a procesos de mineralización.

Los mecanismos de precipitación propuestos están relacionados a factores tectónicos – estructurales, lo que se refleja en la presencia de abundantes vetas en las zonas cercanas a la falla. Lo anterior sugiere que la traza de la falla tanto hacia el norte como hacia el sur representa una zona de interés. En esta línea, la literatura señala que el mecanismo de válvula de falla en depósitos orogénicos posee una extensión vertical cercana a los 2 km, con continuidad de vetas de cuarzo – oro en profundidad (Groves, 1993; Groves, 1998). Teniendo en cuenta esto y las profundidades obtenidas en el Raman (Figura 42), se tiene que el sistema en estudio podría constituir la parte superior de un set de vetas con potencial en profundidad que podría alcanzar centenas de metros.

Por último, la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro tanto en vetillas como diseminado en cristales de cuarzo constituye un buen indicador para la presencia de metales preciosos en el sistema, por lo que se recomienda poner especial atención a la descripción de muestras de mano que posean estas características.

Los resultados obtenidos y sus implicancias para la exploración se sintetizan en la figura 44. En esta, también se señalan con recuadros de color rojo las zonas con mayor potencial del proyecto, en las que se sugiere realizar una campaña de sondajes.

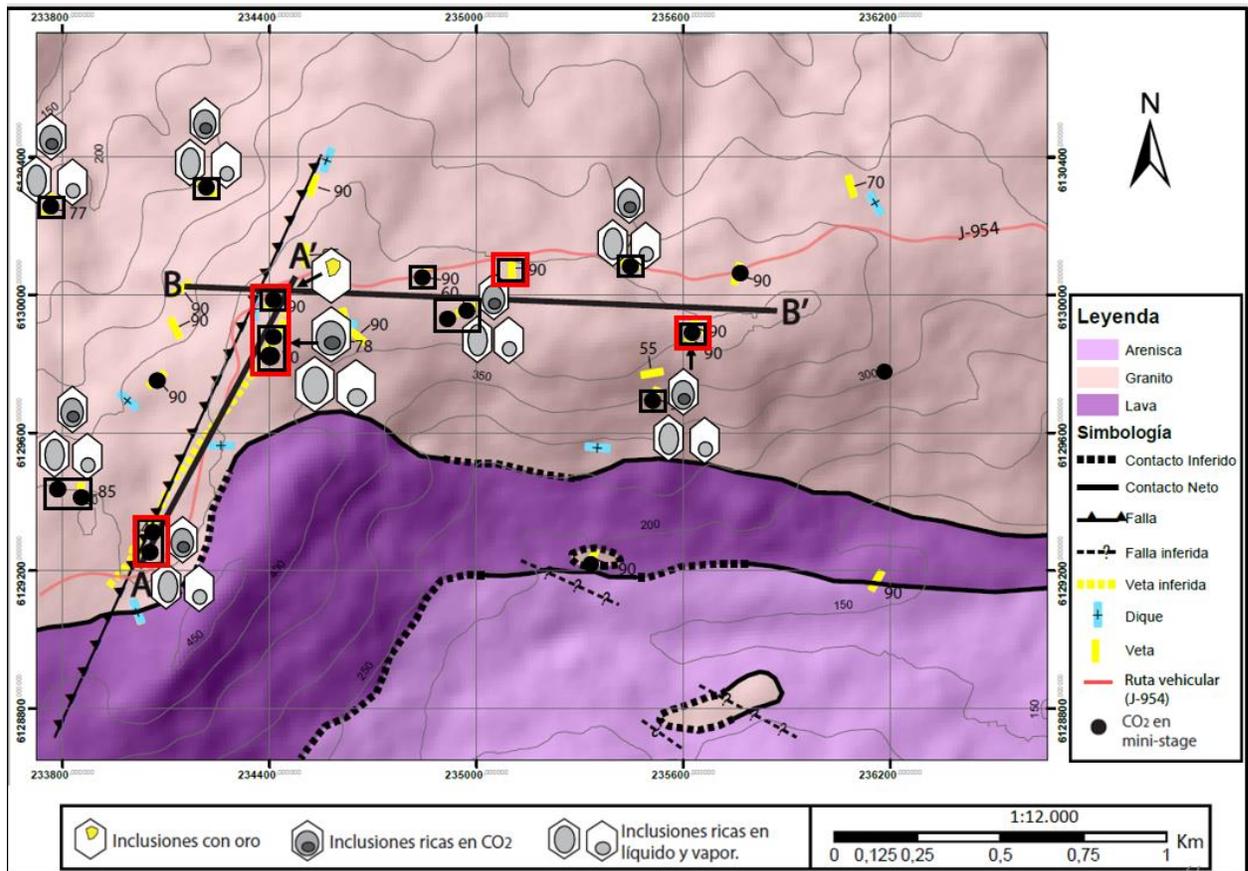


Figura 44. Mapa geológico con vetas donde se encontraron evidencias de CO₂, de ebullición y de mineralización. Los recuadros en rojo señalan las zonas con mayor potencial del Proyecto Joy, en las cuales se sugiere realizar una campaña de sondajes.

Teniendo en cuenta la información expuesta en la figura 44 y como se mencionó anteriormente, se propone realizar sondajes en cuatro zonas que poseen un gran potencial dentro del proyecto. La ubicación de estos sondajes y la orientación se muestra en la figura 45, en la que se esquematizan las principales estructuras mineralizadas.

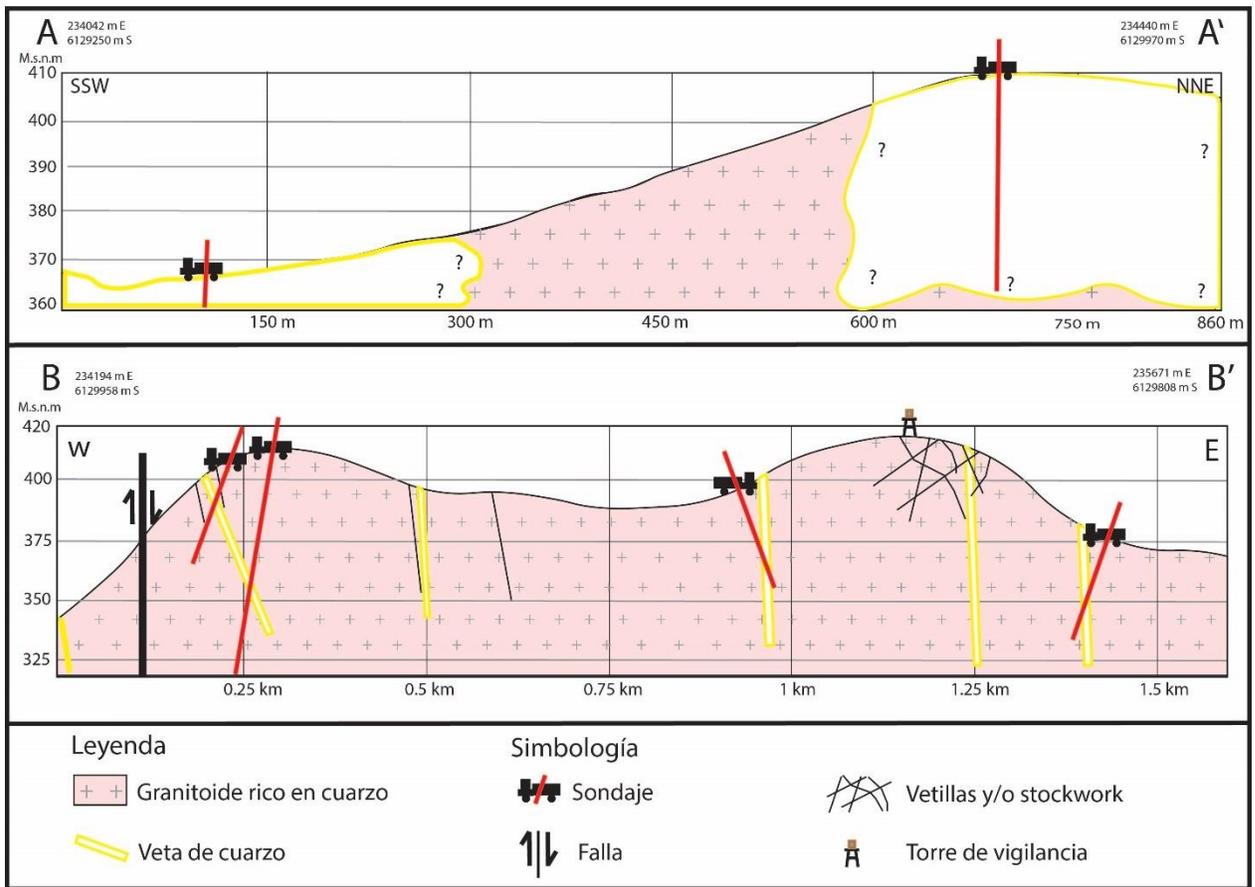


Figura 45. Perfil AA' y BB' del Proyecto Joy. Se muestran las principales estructuras mineralizadas, las zonas en donde se sugiere realizar sondajes y su ubicación tentativa. En el perfil AA', los signos de interrogación representan las zonas en las que no se tiene certeza de la extensión de las vetas.

7. Conclusiones.

En el presente estudio se busca determinar las zonas con mayor potencial económico y establecer criterios de exploración en el Proyecto Joy, ubicado en la comuna de Hualañé, VII Región de Chile. Para esto se realizó inicialmente un trabajo en terreno y luego un trabajo de gabinete, donde se utilizaron herramientas petrográficas y espectrometría Raman para el estudio de inclusiones fluidas.

La geología local y regional del proyecto en estudio, junto con los resultados obtenidos en la petrografía macroscópica y de inclusiones fluidas, se corresponden con un depósito mesotermal del tipo orogénico. La roca caja hospedante de las vetas de cuarzo – oro es un cuerpo intrusivo granítico de dimensiones batolíticas y edades Paleozoicas. Estas vetas poseen escasa mineralización, pudiéndose reconocer pirita, electrum, arsenopirita, esfalerita y galena en una proporción que no supera el 5%. En lo que respecta a la alteración, la asociación mineral representativa del sistema es cuarzo – sericita – pirita, siendo apreciable la sericita – pirita en el cuerpo intrusivo en zonas próximas a las paredes de las vetas. La mineralización se restringe a las vetas de cuarzo y se puede observar tanto disseminada, para el caso de los sulfuros, como también en vetillas de óxidos e hidróxidos de hierro, en las cuales se ha encontrado oro/electrum disseminado.

Las evidencias petrográficas obtenidas permiten establecer una secuencia paragenética parcial de la porción del proyecto en estudio, en la cual se establecieron dos grandes eventos: el primero corresponde a la etapa de mineralización y se caracteriza por la presencia escasa de sulfuros y metales preciosos disseminados en vetas de cuarzo, mientras que el segundo se asocia a un evento post mineralización con presencia de clorita, epidota, menor calcita y relleno de espacios abiertos con cuarzo peñeta y estilo druso. El último evento en su etapa más tardía corresponde a la formación de óxidos e hidróxidos de hierro asociados a procesos supérgenos de oxidación de sulfuros.

El evento mineralizador se divide en dos etapas parciales, las cuales probablemente se repitieron más de una vez. La Etapa I se caracteriza por cuarzo euhedral a subhedral con presencia de FIAs primarias ricas en CO₂, FIAs de ebullición e inclusiones con presencia de electrum. En esta etapa se observó mineralización disseminada de electrum entre cristales de cuarzo euhedral. La Etapa II se distingue por la presencia vetillas de cuarzo jigsaw que cortan a la Etapa I, con escasa presencia de sulfuros y electrum. A esta etapa también se le asocia la presencia de cuarzo faethery en las zonas de contacto entre la Etapa I y Etapa II. Los arreglos de inclusiones en el cuarzo jigsaw son de tamaños menores a los del cuarzo euhedral lo que dificulta la petrografía de inclusiones, sin embargo, se pudieron observar FIAs con evidencias de boiling. Por su parte, las inclusiones observadas en el evento post mineralización, hospedadas en cuarzo tipo drusa relleno de espacios abiertos, corresponden a FIAs primarias ricas en líquido, sin evidencias de procesos de ebullición, por lo que se asocian a procesos tardíos terminales del sistema hidrotermal.

Las asociaciones mineralógicas observadas permiten determinar que el fluido hidrotermal en la etapa de mineralización era reductor, con fugacidades de azufre entre 10^{-12} y 10^{-8} , y pH cercano al neutro. Mientras que en el estudio de inclusiones se observó que el fluido es rico en $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ y ausencia de sólidos de halita, por lo que se infiere que posee baja salinidad. Por lo anterior, se propone que los metales preciosos se transportaron como complejos sulfurados en la porción del sistema en estudio. Lo anterior no excluye un aporte de complejos clorurados en el transporte de metales, por lo que no se descarta su importancia en zonas más profundas del sistema.

La presencia de arreglos de inclusiones fluidas ricas en líquido coexistiendo con ricas en vapor, tanto primarias como secundarias en el evento mineralizador, asociadas a zonas con altas leyes de metales preciosos, sugieren que la ebullición tendría un rol primordial como mecanismo de precipitación de metales preciosos en el Proyecto Joy.

Sumado a lo anterior, se tiene que los análisis de espectrometría Raman arrojan un rango de presiones mínimas de formación entre 44 y 58 bares en una misma muestra. Esto se puede atribuir a la acción de una válvula de falla controlando estructuralmente el sistema, en la cual se generan fracturas asociadas a esta falla de alto ángulo y se desencadenan fluctuaciones cíclicas en la presión de fluido. Debido a esta fluctuación, se producen eventos de ebullición que están íntimamente ligados al proceso de precipitación mineral de oro.

Teniendo en cuenta la literatura, en que se señala que los depósitos orogénicos se forman en profundidades entre 3 y 10 km (hasta 20 km en algunos casos), con una extensión vertical continua cercana a los 2 km, y que las presiones y densidades obtenidas arrojan una profundidad promedio de formación cercana a los 1600 metros, con un máximo de 3200 m, se estima que la porción del sistema estudiado sería el techo o la parte superior de un sistema de vetas.

Atendiendo al objetivo principal de la presente investigación, se concluye que el Proyecto Joy posee un innegable interés económico tanto en superficie como en profundidad. En lo que respecta a estudios en superficie, se propone explorar zonas cercanas a la traza de la falla y siguiendo transectas con orientación E-W, ya que las estructuras mineralizadas poseen un rumbo NNE-SSW, entre 0 y 30°.

Finalmente, se propone realizar sondajes que intercepten la veta Antonia y a las estructuras con mayor potencial. Esto con el fin de poder realizar un modelo de depósito más acabado y estimar e inferir recursos en un modelo de bloque. Sumado a lo anterior, también se propone realizar un sondaje profundo en la veta Antonia, en el cual se pueda determinar si efectivamente el sistema posee una extensa continuidad vertical con mineralización de metales preciosos.

8. Bibliografía

- Aguirre, L., Hervé, F., & Godoy, E. (1972). Distribution of metamorphic facies in Chile, *An outline. Kristalinikum*, 9, 7-19.
- Aguirre, L., Ruiz, C., & Corvalán, J. (1965). Geología y Yacimientos metalíferos de Chile, *Instituto de Investigación Geológica. Santiago, Chile*, 385.
- Bakker, R., & Jansen, J. (1993). Calculated fluid evolution path versus fluid inclusions data in the COHN system as exemplified by metamorphic rock from Rogaland, south-west Norway, *Journal of Metamorphic Geology*, 11, 357-370.
- Bakker, R., & Diamond, L. (2000). Determination of the composition and molar volume of H₂O-CO₂ fluid inclusions by microthermometry, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(10), 1753-1764.
- Bodnar, R.J. (1994) Philosophy of fluid inclusions análisis. En *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications* (B. De Vivo & M. L. Frezzotti, ed.) Virginia Tech, Blacksburg, VA, 1-6
- Bodnar, R.J., Lecumberri-Sánchez, P., Moncada, D., & Steele-MacInnis, M. (2014). Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. En H. Holland, & K. Turekian, *Treatise on Geochemistry* (second ed., 119-142). Oxford: Elsevier.
- Bodnar, R.J., Reynolds, T., & Kuehn, C. (1985). Fluid-inclusions systematics in epithermal systems. En B.R. Berger & P.M. Bethke (ed.) *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems, Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*, 2, 73-98.
- Brown, K.L. (1986). Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand, *Economic Geology*, 81 (4), 979–983.
- Candia, W. (1987). Reconocimiento Geológico del yacimiento de Las Palmas, VII Región, Talca, *Taller de Título II. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago*, 86p.
- Cathelineau, M., Boiron, M., Holliger, P., Marion, P., & Denis, M. (1989). Gold in arsenopyrites: Crystal chemistry, location and state, physical and chemical conditions of deposition. En: Keays, R.R., Ramsay, W.R.H., Groves, D.I. (Ed). *The Geology of Gold Deposits: The Perspective in 1988. Econ. Geol. Monogr.* 6, 328–341.
- Corvalán, J. (1976). El Triásico y Jurásico de Vichuquén-Tilicura y de Hualañé, Provincia de Curicó. Implicaciones paleogeográficas, *Primer Congreso Geológico Chileno. Actas V.1*, pp A137 – A134.
- Cox S., Sun, S., Etheridge, M., Wall, V., & Potter, T. (1995). Structural and Geochemical Controls on the Development of Turbidite-Hosted Gold Quartz Vein Deposits, Wattle Gully Mine, Central Victoria, Australia, *Economic Geology*, 90, 1722-1746.
- Cox, S., Knackstedt M., & Brown, J. (2001). Principles of structural control on permeability and fluid flow in hydrothermal systems, *Reviews in Economic Geology*, 14, 1–24.

- Diamond, L. (2000). Review of the systematics of CO₂-H₂O fluid inclusions, *Lithos*, 55, 69-99.
- Dong, G., Morrison, G., & Jaireth, S. (1995). Quartz textures in epithermal veins, Queensland classification, origin and implication, *Economic Geology*, 90(6), 1841-1856.
- Farías, M., Charrier, R., Carretier, S., Martinod, J., Fock, A., Campbell, D., Cáceres, J., & Comte, D. (2008). Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°-35°S), *Tectonics*, 27, no. 1, p n/a.
- Forsythe, R. (1982). The Late Paleozoic to Early Mesozoic evolution of southern South America. A plate tectonic interpretation, *Jr. Geol. Soc. London*, 139, 6, 671–682.
- Frezzoti, M., Tecce, F., & Casagli, A. (2012). Raman spectroscopy for fluid inclusión análisis, *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 1-20.
- Gammons, C. H., Yu, Y., & Williams-Jones, A. (1997). The disproportionation of gold(I) chloride complexes at 25 to 200°C, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(10), 1971-1983.
- Gana, P., & Hervé, F. (1983). Geología del Basamento Cristalino en la Cordillera de la Costa entre los ríos Mataquito y Maule, VII Región, *Revista Geológica de Chile*, N°19 – 20, 37–56.
- Goldfarb, R., Groves, D., & Gardoll, S. (2001). Orogenic gold and geologic time: a global synthesis, *Ore Geology Reviews*, 18, 1-75.
- Goldfarb, R., & Groves, D. (2015). Orogenic gold: Common or involving fluid and metal sources, *Lithos*, 233, 2-26.
- Goldstein, R.H., & Reynolds, J.T. (1994). Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals, *SEPM Short Course 31*, 213.
- Gröpper, J. (2011). Franjas metalogénicas de edad jurásica y cretácica en la Cordillera de la Costa de Chile Centra, entre los 32° y los 35° de latitud sur, *Memoria para optar al título de geólogo*, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 23-40.
- Groves, D., & Phillips, G. (1987). The genesis and tectonic controls on Archaean gold deposits of the Western Australian Shield: A metamorphic-replacement model, *Ore Geology Reviews*. 2, 287–322
- Groves, D. (1993). The cristal continuun model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia, *Mineralum Deposita* 28, 366-374.
- Groves, D., Goldfarb, R., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S., & Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the contexto of their cristal distribution and relationship to other gold deposits types, *Ore Geology Reviews*, 13, 7-27.

- Hagemann, S., & Brown, P. (1996). Geobarometry in Archean lode-gold deposits, *European Journal of Mineralogy* 8, 937-960.
- Hedenquist, J., Arribas, A., Jr., & Reynolds, T. (1998). Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines, *Economic Geology*, 13, 373-404.
- Hervé, F., Thiele, R., & Parada, M.A. (1976). Observaciones geológicas en el Triásico de Chile Central entre las latitudes 35°30' y 40°00', Primer Congreso Geológico Chileno, Acta v.1, Santiago, A297-A313.
- Hervé, F., Davidson, J., & Godoy, E. (1981). The Late Paleozoic in Chile: stratigraphy structure and posible tectonic framework, *Ann. Academia Brasileira de Ciências*, 53, N ° 2, 362-373.
- Hervé, F., Kawashita, K., & Munizaga, F. (1982). Edades Rb/ Sr de los cinturones metamórficos pareados de Chile Central, *Tercer Congreso Geológico Chileno, Actas 1, v 2*, Santiago, 116-013.
- Hervé, F., Munizaga, F., Parada, M. A., Brook, M., Pankhurst, R. J., Snelling, N. J., & Drake, R. (1988). Granitoids of the coast range of central Chile: geochronology and geologic setting, *Journal of South American Earth Sciences*, 1, 185-194.
- Ho, S. (1987). Fluid inclusions: their potential as an exploration tool for Archaean gold deposits, En: Ho, S. E. & Groves, D. I. (Eds) *Recent Advances in Understanding Precambrian Gold Deposits. The University of Western Australia Geology Department and University Extension, Perth, W. Australia*, 11, 239-263.
- Hornkohlo, H. (1940). El mineral aurífero Loma Blanca. *Instituto de Investigación Geológica, Informe Técnico*, Santiago, Chile, 11pp.
- Huizenga, J. (2001) Thermodynamic modelling of C-O-H fluids, *Lithos*, 55, 101-114.
- Izaguirre, A., Camprubí, A., & Iriondo, A. (2017). Mesozoic orogenic gold deposits in Mexico, *Ore Geology Reviews*, 81, 1172-1183.
- Johnson, J.W., Oelkers, E.H., & Helgeson, H.C. (1992). A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species and reactions from 1 to 5000 bar and 0 to 1000°C, *Computational Geoscience*, 18, 899-947.
- Kontak, D.J., Horne, R.J., & Smith, P.K. (1996). Hydrothermal characterization of the WestGore Sb-Au deposit, Meguma terrane, Nova Scotia, Canada, *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 91, 1239-1262.
- Kravtsov, A., & Fridman, A. (1965). Natural gases of ore deposits, *Academy Sciences USSR, Doklady Earth Science*, 165, 192-193.

- Lamadrid, H.M., Moore, L.R., Moncada, D., Rimstidt, J.D., Burruss, R.C., & Bodnar, R.J. (2017). Reassessment of the Raman CO₂ densimeter, *Chemical Geology*, 450, 210-222.
- Maksaev, V., Townley B., Palacios, C., & Camus., F. (2007). Metallic ore deposits. *The Geology of Chile, The Geological Society*, London, 181-201.
- Mikucki, (1998). Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems: A review, *Ore Geology Reviews*, 13, 307–321.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., J. Reynolds, T., D. Rimstidt, J., & Bodnar, R.J. (2012) Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration, *Journal of Geochemical Exploration*, 114, 20-35.
- Munizaga, F., Aguirre, L., & Hervé, F. (1978). Rb/Sr Ages of rocks from the Chilean metamorphic basement, *Earth Plan Sc. Letters*, V. 18, 87–92.
- Morel, R. (1981). Geología del sector norte de la hoja Guallaco, entre los 35°00' y los 35°10' latitud sur, provincia de Talca, VII Región, Chile, *Tesis de Grado, M.Cs, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago*, 149p.
- Nash, J.T. (1976). Fluid inclusión petrology – data from porphyry copper deposits and applications to exploration, *U.S. Geological Survey*, Prof. Pap. 907-D, 16pp.
- Neumayr, P., Groves, D., & Ridley, J., (1993). Syn-amphibolite facies Archaean lode gold mineralisation in the Mt. York District, Pilbara Block, Western Australia, *Mineralium Deposita*, 28, 457–468.
- Newton, R. (1989). Metamorphic fluids in the Deep crust, *Annual Rev. Earth Planetary Sciences*, 17, 385-412.
- Phillips, G., & Groves, D. (1983). The nature of Archaean gold bearing fluids as deduced from gold deposits from Western Australia, *Journal of Geologic Society of Australia*. 30, 25–40.
- Poulsen, K.H. (1996). Lode-gold. *En: Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. (Ed.), Geology of Canadian Mineral Deposit Types. The Geology of North America, vol. P-1. Geological Society of America*, 323-328.
- Pokrovski, G., Akinfiyev, N., Borisova, A., Zotov, A., & Kouzmanov, K. (2014). Gold speciation and transport in geological fluids: insights from experiments and physical-chemical modelling, *Geological Society, London, Special Publications*, 402(1), 9-70.
- Richards, J., & Mumin, A. (2013). Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: IOCG and porphyry Cu +/- Mo +/- Au deposits, *Geology*, 41, 767-770.
- Ridley, J., Mikucki, E., & Groves, D. (1996). Archean lode-gold deposits: Fluid Flow and chemical evolution in vertically extensive hydrothermal systems, *Ore Geology Reviews*, 10, 279-293.

- Robert, F., & Kelly, W. (1987) Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada, *Economic Geology*, 82, 1464–1482.
- Roedder, E. (1973). Composition of fluid inclusions, *United States Geological Survey Professional Paper*, 440-JJ.
- Roedder, E. (1984). Fluid Inclusions, *Reviews in Mineralogy*, 12, 644p.
- Seward, T.M. (1991). The hydrothermal geochemistry of gold, En: Foster, R.P. (Ed.), *Gold Metallogeny and Exploration Chapman and Hall*, London, 37–62.
- Seward, T.M. & Barnes, H.L. (1997). Metal Transport by Hydrothermal Ore Fluids, En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (Ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication*, 435-486.
- Shock, E.L., & Helgeson, H. (1988). Calculation of thermodynamic and transport properties of aqueous species at high pressures and temperatures: Correlation algorithms for ionic species and equation of state predictions to 5 kbar and 1000°C, *Geochimica Cosmochimica Acta* 53, 269-278
- Sibson, R., Robert, F., & Pulsen, H. (1988). High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold quartz deposits, *Geology*, 16, 551–555.
- Sillitoe, R. (1991). Intrusion-related gold deposits, En: *Gold Metallogeny and Exploration*, Foster, R. P. (Ed), Blackie, Glasgow, 165-209
- Sillitoe, R. (2010). Porphyry Copper Systems, *Economic Geology* 105, 3-41.
- Tapia, F. (2010). Análisis estructural del sector occidental de la faja plegada y corrida de Malargüe en el curso superior del río Colorado de Lontué (35°18' y 35°23's), Región del Maule, Chile, *Memoria para optar al título de geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile*, Santiago, 160pp.
- Thiele, R. (1965). El Triásico y Jurásico del departamento de Curepto en la provincia de Talca, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Publicación N° 28, 45p.
- Thiele, R. & Morel, R. (1981). Tectónica Triásico-Jurásica en la cordillera de la costa, al norte y sur del río Mataquito. (34°45' - 35°15' Lat. S), Chile. *Revista Geológica de Chile* N° 13, 49-61.
- Touret, J. (1992). CO₂ transfer between the upper mantle and the atmosphere: temporary storage in the lower continental crust, *Terra Nova*, 4, 87-98
- Van den Kerkhof, A. (1988). The system CO₂–CH₄–N₂ in fluid inclusions: theoretical modelling and geological applications. *PhD Dissertation, Amsterdam (Free University)*, 206 pp.
- Van den Kerkhof, A., & Thiéry, R. (2000). Carbonic inclusions, *Lithos*, 55, 49-68
- Vaughn, E., & Ridley, J. (2014). Evidence for exsolution of Au-ore fluids from granites crystallized in the mid-crust, Archean Louis Lake Batholith, Wyoming. En:

Garofalo, P. S. & Ridley, J. R. (Eds) *Gold-Transporting Hydrothermal Fluids in the Earth's Crust. Geological Society, London, Special Publications*, 402.

Willner, A., Thomson, S., Kröner, A., Wartho, J., Wijbrans, J., & Hervé, F. (2005). Time Markers for the Evolution and Exhumation History of a Late Palaeozoic Paired Metamorphic Belt in North-Central Chile (34°-35°30'S), *Journal of Petrology*, 46, 1835-1858.

Willner, A., Richter, P., & Ring, U. (2009). Structural overprint of a late Paleozoic accretionary system in north-central Chile (34° - 35°S) during postaccretional deformation, *Andean Geology*, 36 (1),17–36.

Yang, L., Deng, J., Guo, R., Guo, L., Wang, Z., Chen, B., & Wang, X. (2016). World-class Xincheng gold deposit: An example from the giant Jiaodong gold province, *Geoscience Frontiers*, 7, 419-430.

Zotov, A., Baranova, N., Daryina, T., & Bannykh, L. (1991). The solubility of gold in aqueous chloride fluids at 350–500°C and 500–1500 atm. Thermodynamic parameters of $AuCl_{2(sol)}^-$ up to 750°C and 5000 atm, *Geochem. Int.* 28, 63–71.

9. Anexo A

Tabla 2. Datos estructurales medidos en terreno.

Tipo	Código	X	Y	Z	Az	Dip	DipDir
Dique	1.1.2003	234353	6129991	ND	310	55	40
Dique	1.1.2004	234356	6129960	ND	310	50	40
Dique	38354	234566	6130392	348	290	27	20
Veta	36894	234402	6129855	398	40	70	130
Veta	3.2.4	No	No	No	35	75	125
Veta	3.2.6	No	No	No	40	85	130
Veta	2.2.3_A	233763	6130264	194	346	77	76
Veta	2.2.3_B	233763	6130264	194	130	86	220
Veta	2.2.3_C	233763	6130264	194	158	84	248
Veta	2.2.5_1	234214	6130311	220	304	54	36
Veta	3.2.7	234021	6129256	ND	283	85	13
Dique	3.2.8_2	234259	6129563	ND	90	90	180
Dique	4.2.2_B	235351	6129558	261	95	30	185
Veta	4.2.4_C	235515	6129705	No	20	90	110
Veta	4.2.7_A	235623	6129873	No	230	85	320
Veta	4.2.8	235626	6129905	No	20	90	110
Veta	5.2.3	236163	6129175	No	130	90	220
Veta	3D2P1	234149	6130022	307	54	90	144
Veta	No	234125	6129907	295	335	90	85
Veta	No	234016	6129080	312	340	90	70
Dique	3D2Pc3	234016	6129080	312	338	90	68
Dique	P6 (Pc4)	233987	6129693	No	130	90	220
Veta	3d2P2	233965	6129756	310	0	85	90
Veta	No	234076	6129760	337	50	90	140
Veta	3D2Pc8	234412	6129994	392	25	90	115
Dique	P11 (dique)	234552	6130043	No	10	90	100
Veta	P13 (P5)	234853	6130057	No	10	90	100
Veta	P15 (P7)	235102	6130085	365	0	90	90
Veta	3D2P11	235447	6130091	343	275	70	5
Veta	P20 (P12)	235757	6130065	348	15	90	105
Veta	P23	234599	6129881	373	190	78	280
Veta	P24_veta	234649	6129886	372	310	90	40
Veta	P25_veta	234619	6129924	No	165	50	255
Dique	P25_dique	234619	6129924	No	288	50	18
Veta	3D3P27	234968	6129957	No	248	54	338
Veta	P32	235505	6129774	352	260	52	350
Veta	3D4P36-2	235335	6129236	166	25	90	115
Veta	3D6P75	233852	6129427	360			90
Veta	P79	236086	6130320	285	345	70	75
Dique	P80	236156	6130267	287	150	80	240
Veta	JP42	233627	6127929	338	30	70	120
Veta	JP55	233979	6127974	247	45	85	135
Veta	JP74	234242	6129042	416	70	80	160
Veta	JP75	234381	6129219	401	70	85	160

10. Anexos B

CÓDIGO: 3D2P8-1

Minerales Primarios (85%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	54	Granular	Anhedral	Alta	0.2 - 2 cm
Biotita	5	Micácea/tabular?	Sub-anhedral	Baja	0.5 -1 cm
Plagioclasa	15	Tabular	Subhedral	Media	0.2 -1.2 cm
Microclina	1	Tabular	Subhedral	Media	0.2-0.6 cm
Ortoclase(?)	20	Granular	Anhedral	Media-Baja	0.5-3 cm
Mica Blanca	5	Micáceo/tabular?	Anhedral	Baja	0.1-0.5 cm

Minerales de Alteración (15%)

Arcillas alterando selectivamente feldespatos

Texturas:

Fanerítica: cristales de cuarzo, biotita, plagioclasa, microclina y ortoclase observables a simple vista, inequigranulares.

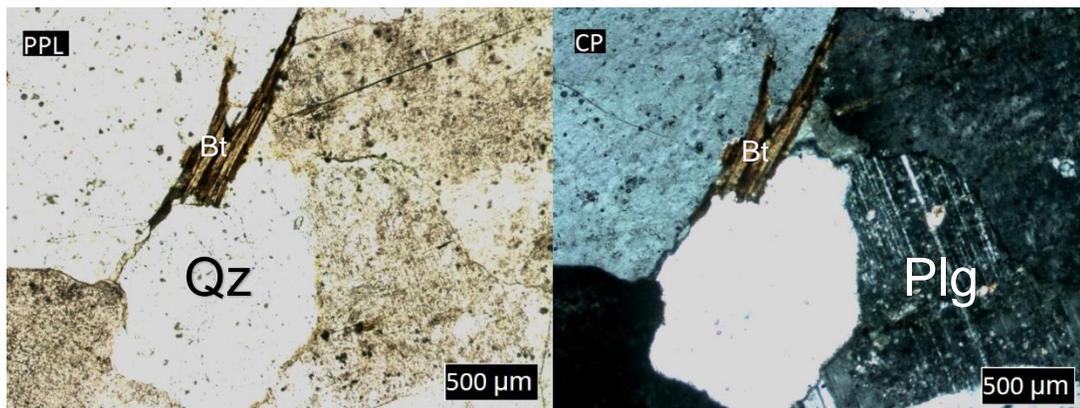
Zonación: en los cristales de plagioclasa fue posible observar una zonación.

Textura de disequilibrio simplectítica: en feldespato.

Textura de exsolución peritítica: Lamelas de albita en feldespato.

*Posible textura consertal, vista en el centro del corte

Clasificación QAP: Granito de biotita y micas blancas subordinadas



CÓDIGO: 3D5granito.

Minerales Primarios (95%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	90	Granular	Anhedral	Media	0.5 – 2 cm
Feldespatos	5	Granular	Anhedral	Media-Baja	0.3 – 2 cm
Micas blancas	5	Micácea	Sub-Anhedral	Media	0.5 – 1 cm

Minerales de alteración (5%)

Alunita 1% granular anhedral en determinadas zonas del corte, integridad baja y con tamaño 0.05mm de diámetro de los cristales.

Arcillas 4% alterando selectivamente feldespatos. También es posible observarlas en los contactos entre los cristales y en pequeñas fisuras que se forman dentro de estos.

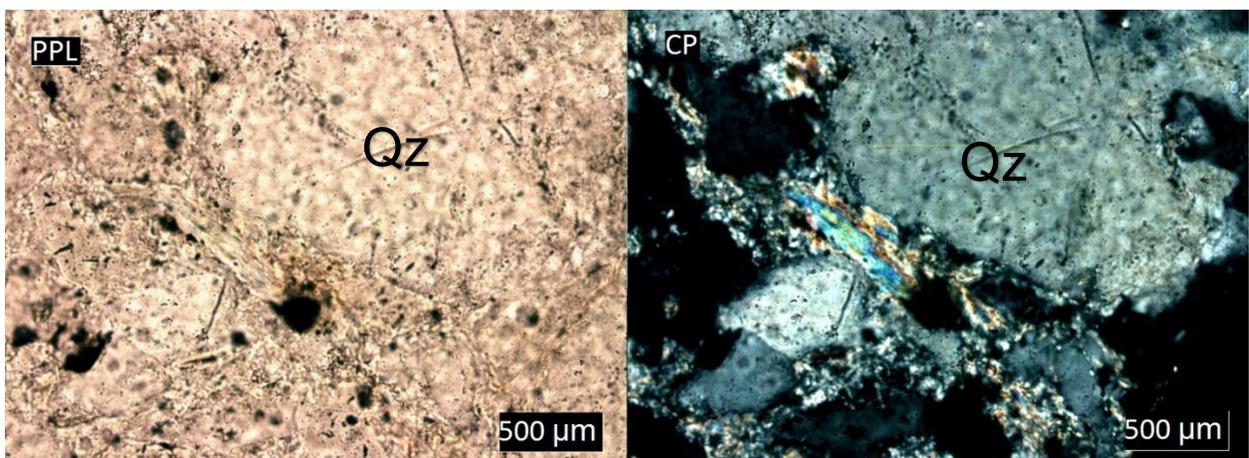
Texturas:

Fanerítica: cristales de cuarzo, feldespatos y micas blancas observables a simple vista, inequigranulares.

*Posible textura consertal.

Clasificación QAP: Granitoide rico en cuarzo.

Observaciones:



CÓDIGO: 3D4P39

Minerales primarios (95%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	90	Granular	Anhedral	Alta	0.2-2mm
Micas blancas	10	Micácea	Sub-Anhedral	Media	0.5-1mm

Minerales de alteración (5%)

Arcillas 5% alterando selectivamente feldespatos. También es posible observarlas en los contactos entre los cristales y en pequeñas fisuras que se forman dentro de estos.

Epidota <1% granular, subhedral con integridad media

Texturas:

Fanerítica: cristales de cuarzo y micas blancas observables a simple vista, inequigranulares.

*Posible textura consertal entre cristales de cuarzo.

Clasificación QAP: Granitoide rico en cuarzo.

Observaciones:

CÓDIGO: JO10

Minerales primarios (80%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	60	Granular	Sub-anhedral	Alta	0.2-2mm
Microclina	20	Granular	Eu-subhedral	Media-baja	0.5-2mm
Ortoclasa	10	Granular	Sub-anhedral	Media-baja	0.5-2mm
Biotita	10	Micácea	Eu-subhedral	Media-alta	0.5-1.5mm

Minerales de alteración (20%)

Clorita alterando selectivamente biotitas. Se observan cúmulos o metadominios de clorita. Aproximadamente el 50% de las biotitas observadas se encuentran cloritizadas.

Sericita en cristales de feldespatos siendo alterados. En algunas zonas se observa presencia de arcillas, posiblemente también alterando a los feldespatos primarios.

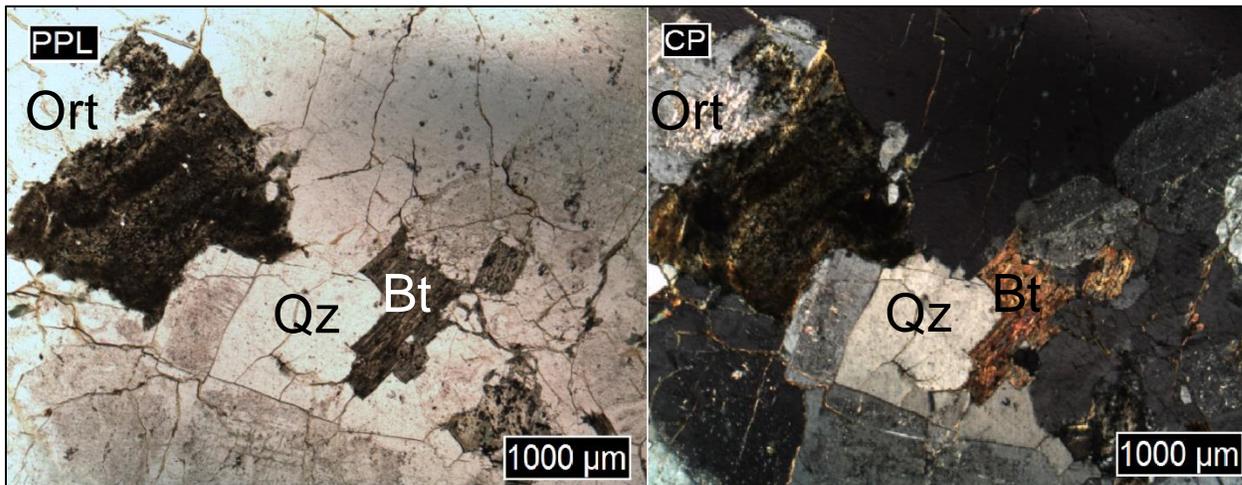
Texturas.

Fanerítica: cristales intercrecidos de cuarzo, microclina, ortoclasa y biotita, visibles macroscópicamente.

Pertítica: lamelas de exsolución de feldespatos en cuarzo.

Consertal: entre cristales de cuarzo.

Clasificación QAP: Granito de biotita.



CÓDIGO: JO13

Minerales primarios (70%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	50	Granular	Sub-anhedral	Alta	0.2-2mm
Feldespatos	¿?	¿?	Anhedral	Baja	¿?

Minerales de alteración (30%)

Sericita y arcillas en gran parte de la muestra. Se logran apreciar las morfologías relictas de cristales de feldespatos siendo alterados a sericita y arcillas.

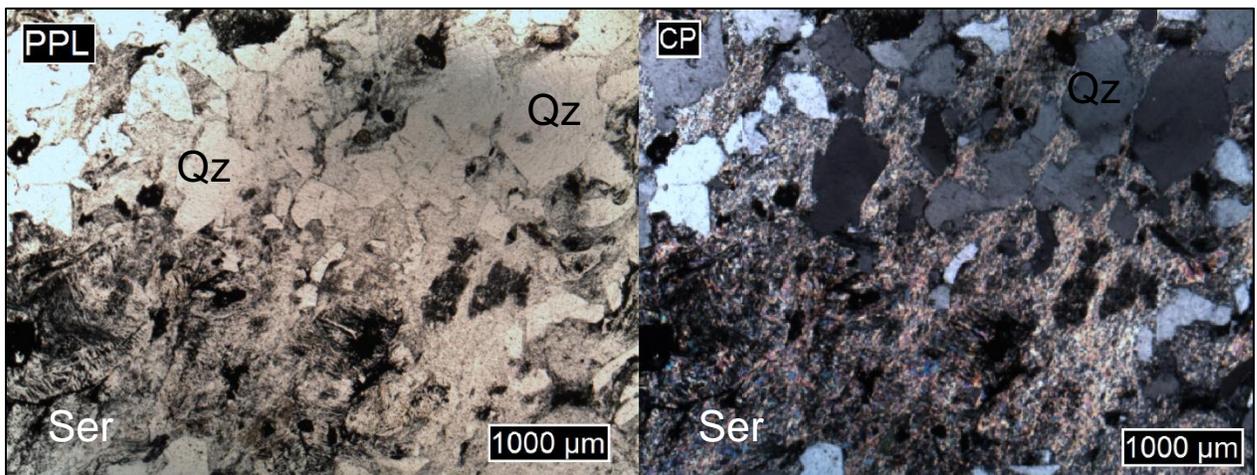
Texturas.

Obliterada: sólo se pueden reconocer cristales de cuarzo en una matriz arcillosa, con presencia de sericita en algunas zonas.

Clasificación QAP: Granitoide rico en cuarzo.

Observaciones

Se aprecian abundantes fracturas en los cristales de cuarzo y en la muestra de mano, dando un aspecto brechoso(?).



CÓDIGO: JO23

Minerales primarios (85%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	80	Granular	Sub-anhedral	Alta	0.2-1.5mm
Micas Blancas	5	Micácea	Sub-anhedral	Media	0.2-3mm
Feldespatos	¿?	¿?	Anhedral	Baja	¿?

Minerales de alteración (15%)

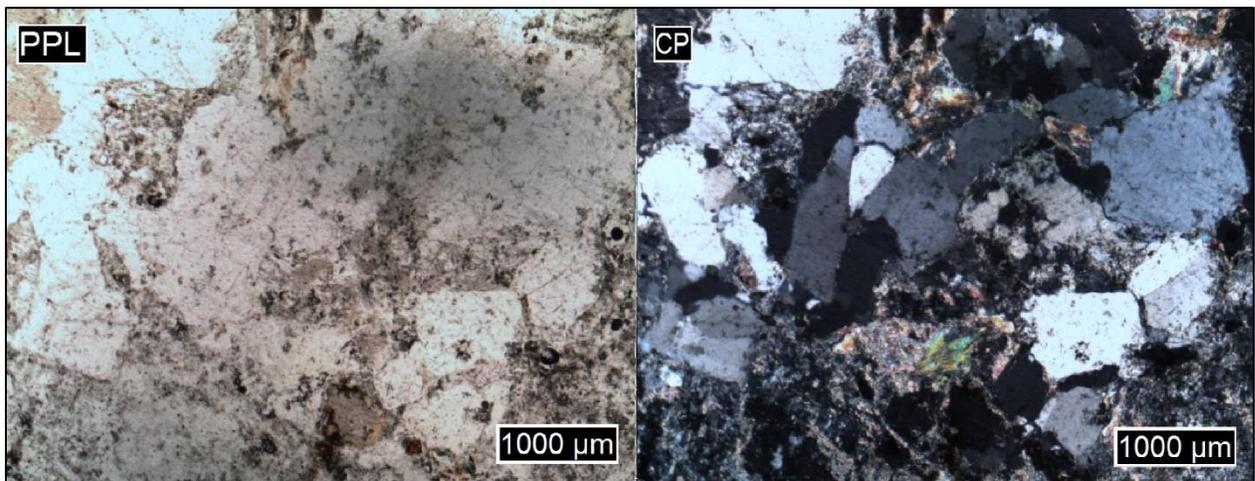
Sericita y arcillas intercrecidas entre cristales de cuarzo y micas blancas. Se atribuye su presencia a la posible alteración de feldespatos.

Texturas.

Fanerítica: cristales de cuarzo intercrecidos, visibles a escala macroscópica. Se logra apreciar sericita y arcillas entre estos cristales.

Clasificación QAP: Granitoide rico en cuarzo.

Observaciones



CÓDIGO: JO32.

Minerales primarios (75%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	40	Granular	Eu-subhedral	Alta	0.5-2cm
Plagioclasa	35	Tabular	Eu-subhedral	Media	0.5-1cm
Feldespatos	25	Granular	Anhedral	Baja	0.5-2cm

Minerales de alteración (25%)

Sericita alterando plagioclasa y feldespatos.

También se reconocen minerales opacos. (óxidos de hierro?)

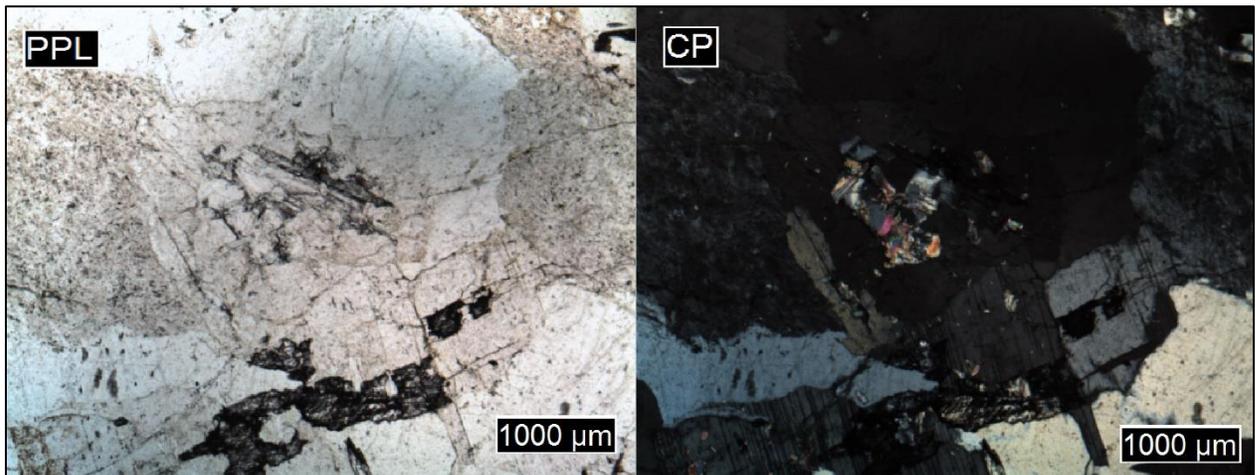
Texturas.

Fanerítica: cristales de cuarzo, biotita y micas blancas intercrecidos, visibles a escala macroscópica. Se logra apreciar sericita y arcillas entre estos cristales.

Pertítica y antipertítica

Clasificación QAP: Granito

Observaciones



CÓDIGO: JO38.

Minerales primarios (75%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	70	Granular	Eu-subhedral	Alta	0.2-2mm
Biotita	15	Micácea	Eu-subhedral	Media	0.5-1.5mm
Micas Blancas	5	Micácea	Sub-anhedral	Media	0.5-2mm
Feldespatos	¿?	¿?	Anhedral	Baja	¿?

Minerales de alteración (25%)

Sericita y arcillas en gran parte de la muestra. Se logran apreciar las morfologías relictas de cristales de feldespatos siendo alterados a sericita y arcillas.

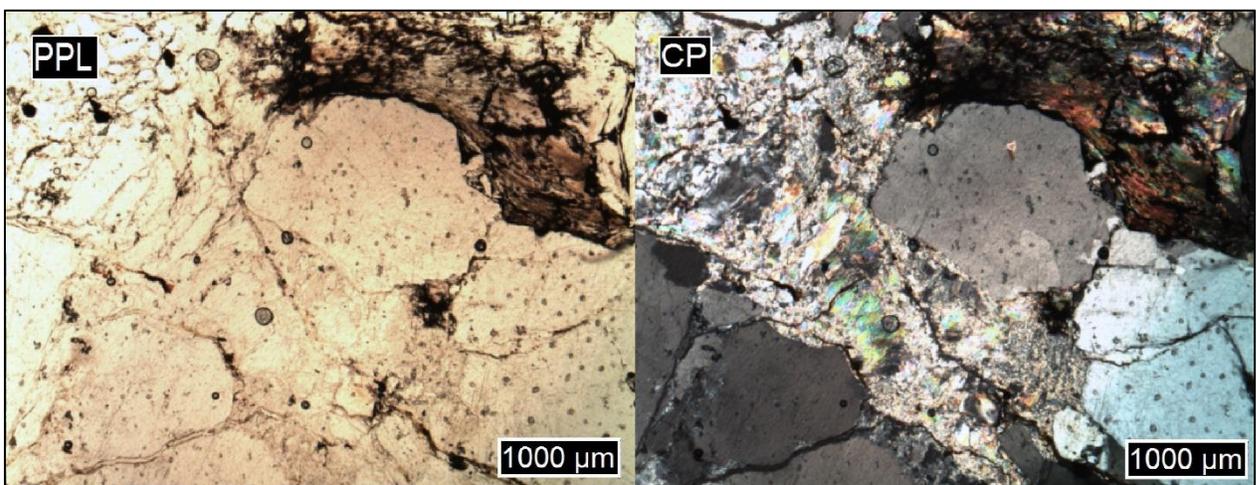
Texturas.

Fanerítica: cristales de cuarzo, biotita y micas blancas intercrecidos, visibles a escala macroscópica. Se logra apreciar sericita y arcillas entre estos cristales.

Clasificación QAP: Granito de biotita y micas blancas subordinadas.

Observaciones

En algunas zonas del afloramiento las muestras presentan una alteración más intensa, dando un aspecto/textura obliterado.



CÓDIGO: JO99

Minerales primarios(95%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	90	Granular	Anhedral	Alta	0.2-2mm
Micas blancas	10	Micácea	Sub-Anhedral	Media	0.5-2mm

Minerales de alteración (5%)

Se observan aproximadamente 5% de arcillas entre los cristales de cuarzo. Posiblemente se deba a la alteración selectiva de feldspatos.

Texturas:

Fanerítica: cristales de cuarzo y micas blancas observables a simple vista, inequigranulares.

Consertal: entre cristales de cuarzo, con aspecto típico aserrado.

Clasificación QAP: Granitoide rico en cuarzo.

Observaciones:

En muestra de mano resulta complejo distinguir si corresponde a una veta de cuarzo o a un afloramiento del cuerpo intrusivo, por lo que se realizó petrografía en corte transparente, arrojando que corresponde a un cuerpo intrusivo rico en cuarzo y no a un cuerpo vetiforme.

CÓDIGO: JW32

Minerales primarios (97%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	90	Granular	Anhedral	Alta	0.2-2mm
Micas blancas	10	Micácea	Sub-Anhedral	Media	0.5-2mm

Minerales de alteración (3%)

Se observan escasas zonas con minerales de alteración como arcillas entre cristales de cuarzo.

Texturas:

Fanerítica: cristales de cuarzo y micas blancas observables a simple vista, inequigranulares.

Consertal: entre cristales de cuarzo, con aspecto típico aserrado.

Pertítica: lamelas de exsolución de feldespatos en cuarzo

Clasificación QAP: Granitoide rico en cuarzo.

Estructuras

CÓDIGO: JW38

Minerales primarios (97%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	70	Granular	Subhedral	Alta	0.2-2cm
Plagioclasa	15	Tabular	Sub-anhedral	media	0.2-1cm
Feldespatos	15	Micácea	Sub-Anhedral	Media	0.5-2cm

Minerales de alteración (3%)

Se observan óxidos de hierro rellenando gran parte de las fracturas que posee el cristal. También se observan estos óxidos de hierro como cemento de una zona que posee aspecto brechoso, La matriz se compone de pequeños fragmentos de cuarzo. En zonas puntuales se puede reconocer clorita(?)

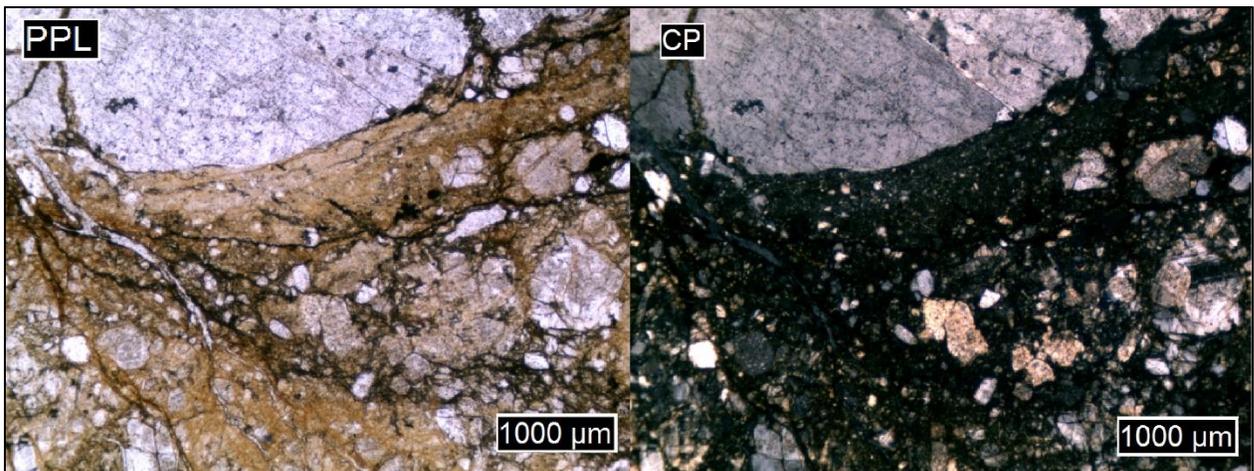
Texturas:

Fanerítica entre fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespatos.

Brechosa en determinadas zonas.

Clasificación QAP: Granito. Brecha ¿?

Estructuras



CÓDIGO: JW100

Minerales primarios (97%)

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo	40	Granular	Subhedral	Alta	0.5-2cm
Plagioclasa	30	Tabular	Sub-euhedral	media	0.5-1cm
Feldespato-k	30	Micácea	Sub-Anhedral	baja	0.5-2cm

Minerales de alteración (3%)

Epidota en vetillas y alterando plagioclasas. Se observan vetillas entre los cristales del corte y también cortando a estos cristales

Texturas:

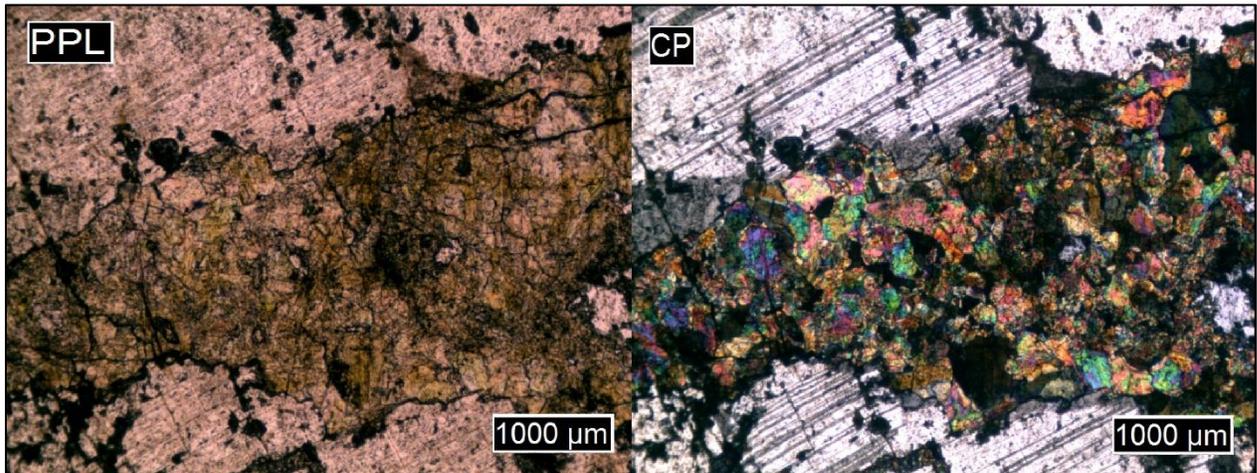
Fanerítica entre fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespatos.

Pertítica y antipertítica.

Clasificación QAP: Granito

Estructuras

Vetillas de epidota, sinuosas, discontinuas, cortándose unas con otras, sin halo de alteración. Su potencia varía desde 1 a 5 mm.



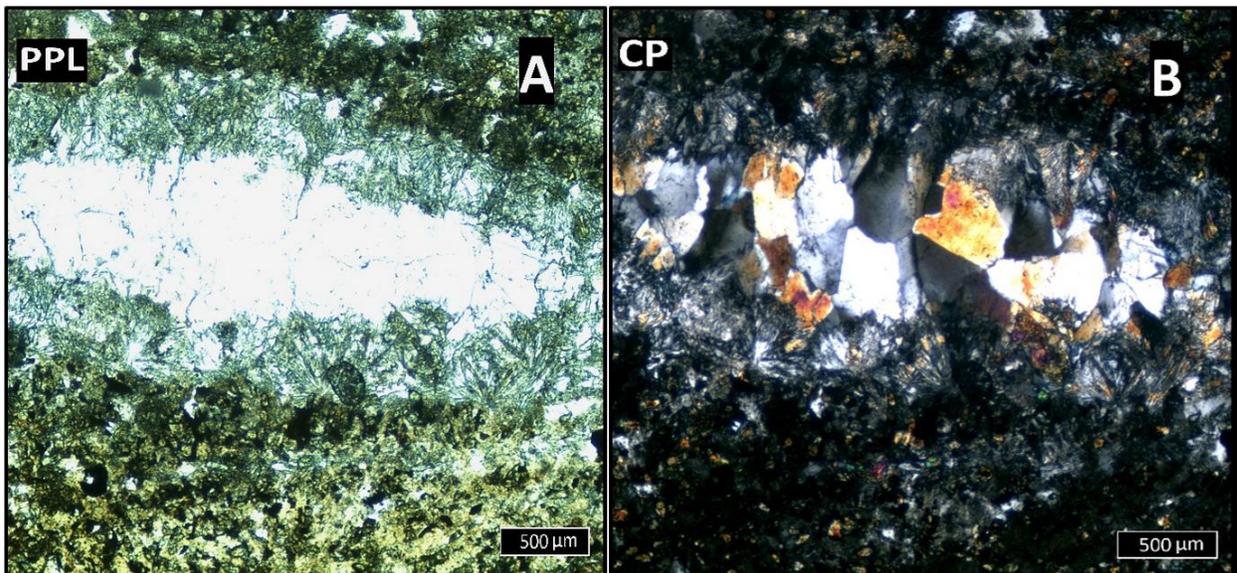
Código: LAVA 34

Minerales primarios

Mineral	%	Forma	Estructuralidad	Integridad	Tamaño
Cuarzo		Granular	Anhedral	Alta	
Feldespatos?			Anhedral	baja	

Se observa una muestra de textura obliterada. Sólo se puede reconocer una masa fundamental compuesta mayoritariamente por epidota y vetillas de cuarzo peineta cortándose entre sí.

Di un último vistazo y sólo reconocí epidota, opacos y feldespatos siendo alterados. Hay vetillas milimétricas cortando toda la muestra, mucho más delgadas que las vetillas de cuarzo documentadas.



BRECHA/VETA (?)

CÓDIGO: 3D6P69

FRAGMENTOS

Tabla 3. Fragmentos y sus características principales.

Composición.	%	Tamaño (mm)	Selección	Redondeamiento	Contactos
Cuarzo	90	0.8-2 y 0.2 a 0.5	Mala	Sub-ang a anguloso	Cónc-Conv
Micas Blancas	10	0.2-0.4	Mala	Sub-and a anguloso	-

Matriz

Fragmentos de cuarzo (70%) inferiores a 0.2mm de diámetro y arcillas (30%) de tamaño similar o inferior a los cristales de cuarzo.

Relación Esqueleto-Pasta

Clastosoportada. Fragmentos 65 % y Matriz 35%

Madurez

Composicionalmente se tiene una roca madura debido a la alta presencia de cuarzo. Mientras que texturalmente corresponde a una roca inmadura, principalmente debido a la variación en el tamaño de los fragmentos que la componen.

Cementación:Sílice

Observaciones:

Los contactos entre los cristales por lo general se observan Concavos-convexos. Sólo en algunos casos se pudo distinguir contactos aserrados entre cristales de cuarzo.

ROCAS SEDIMENTARIAS

CÓDIGO: 622 A

ESQUELETO

Composición	%	Tamaño (mm)	Selección	Redondeamiento	Contactos
Cuarzo	80	0.2-0.5	Buena-Moderada	Sub-red. Sub-ang	Conc-Conv
Micas Blancas	10	0.2-0.4	Moderada	Anguloso	Conc-Conv
Fd alterados	10	0.2-0.5	Buena	Sub-red	Conc-Conv
Epidota	<1	0.3	-	-	-

Matriz

Arcillosa-Micrítica (¿)

Relación Esqueleto-Pasta

Clastosoportada. Esqueleto 90% y Matriz 10% (Posiblemente menos % de matriz)

Madurez

Basándose en el % de matriz, en la selección y en el redondeamiento de los fragmentos que posee la muestra, se tiene que esta es madura textural y composicionalmente.

Cementación:

Posiblemente FeOx

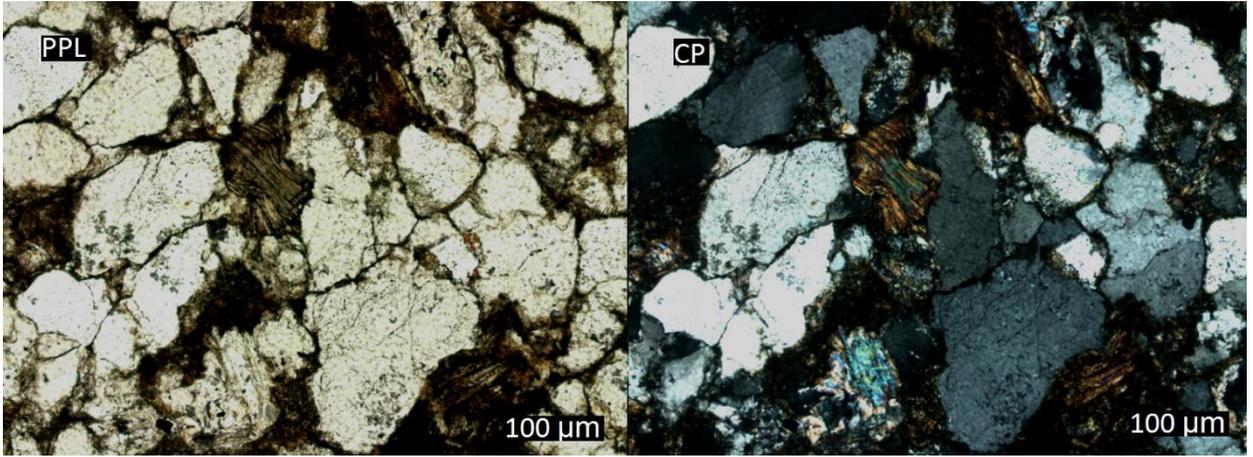
Observaciones:

Se observaron y fotografiaron minerales de color rojo/naranja en NX yNP, tamaño cercano en inferior a 0.1mm, encontrados entre cristales de cuarzo y también sobre/dentro de estos. Estos minerales también fueron observados en el corte 325^a.

El corte posee una vetilla de cuarzo que lo atraviesa a lo largo de principio a fin, recta, continua, con una potencia de 0.2-0.3mm

Contactos suturados

Fracturas cortando esqueleto, matriz y cemento. Discontinuas, sinuosas e irregulares. Se asocian a procesos de compactación una vez que la muestra ya se litificó.



CÓDIGO: 623 A

ESQUELETO

Composición	%	Tamaño (mm)	Selección	Redondeamiento	Contactos
Cuarzo	85	0.1-0.3	Buena- Moderada	Sub-red. Sub-ang	Conc- Conv
Micas Blancas	10	0.1-0.3	Moderada	Anguloso	Conc- Conv
Fd alterados	5	0.1-0.3	Buena	Sub-red	Conc- Conv
Epidota/Circón?	<1	0.1-0.2mm	-	Redondeado	-

Matriz

Arcillosa>Micrítica (¿)

Relación Esqueleto-Pasta

Clastosoportada. Esqueleto 85% y Matriz 15% (Posiblemente más % de matriz)

Madurez

De acuerdo con porcentaje de esqueleto versus matriz, la selección y el redondeamiento de los fragmentos, se tiene que la muestra es medianamente madura textural y madura composicionalmente

Cementación:

Posiblemente FeOx

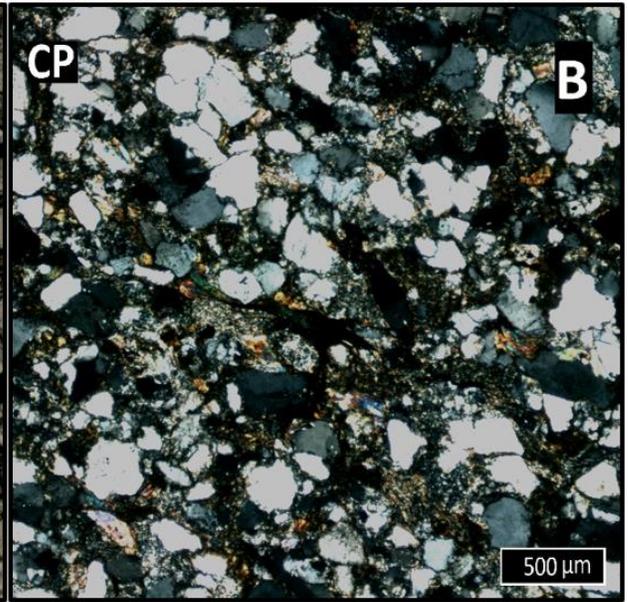
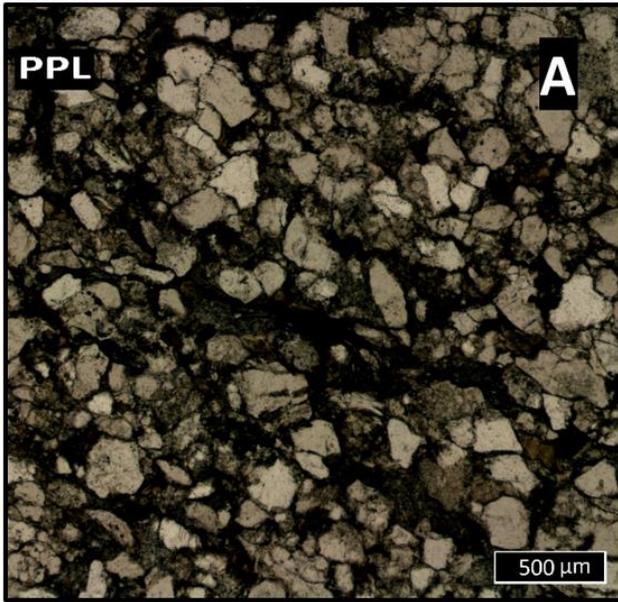
Observaciones:

Hay zonas en las que aumenta el porcentaje de matriz versus esqueleto.

Se observó un mineral que posiblemente corresponde a epidota, con Cl de 2do orden, alto relieve, incoloro a NP, sin pleocroísmo.

Contactos suturados.

Fracturas cortando esqueleto, matriz y cemento. Discontinuas, sinuosas e irregulares. Se Posible imbricación en los clastos.



CÓDIGO: 325

Minerales tabulares alterados a arcillas (65%)

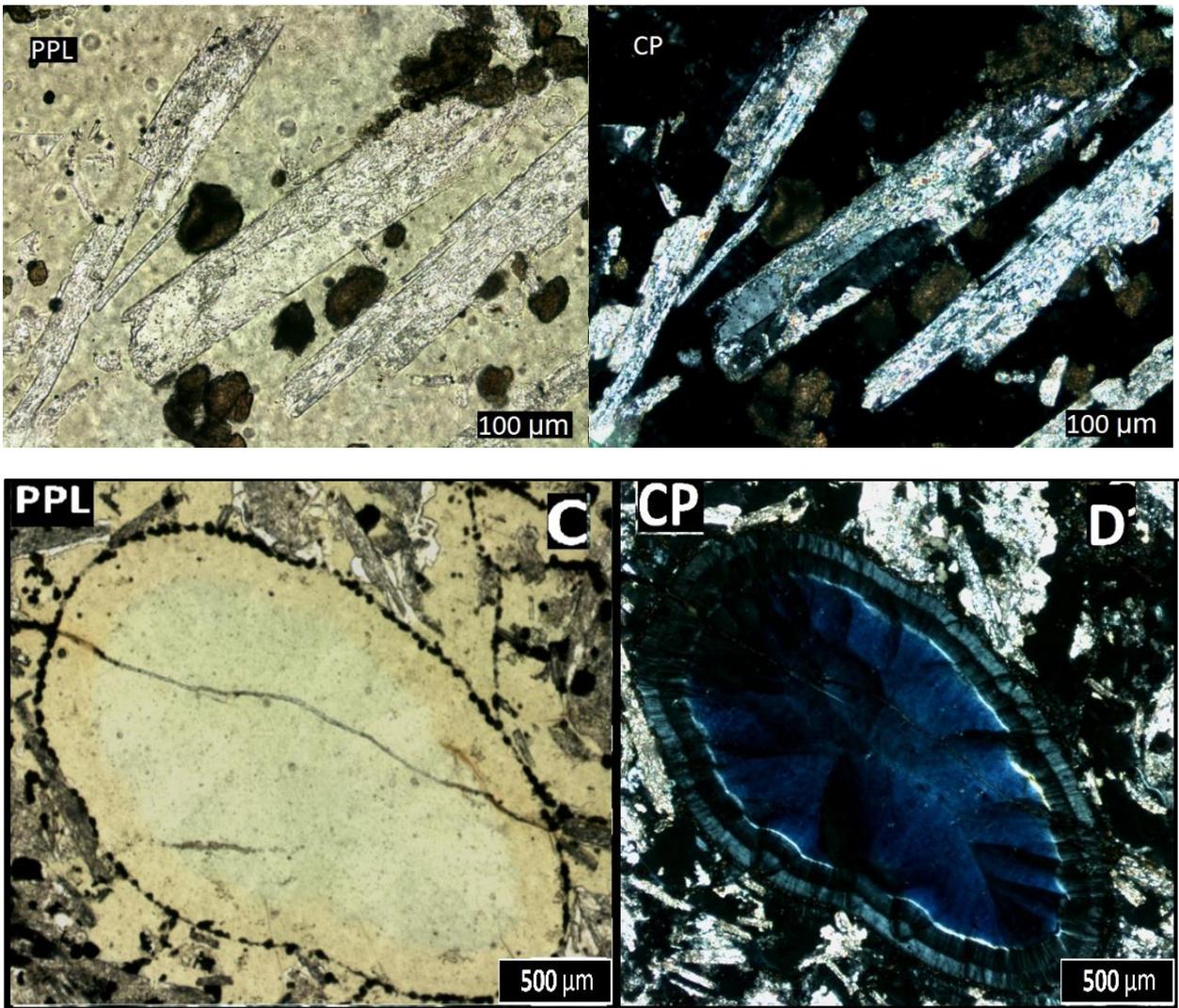
Clorita como cemento (20%) o masa fundamenta alterada (?)

Cristales circulares de color marrón rojizo, posiblemente óxidos de algún elemento (Mn?) (5%)

Calcita como agregado cristalino similar a los cristales de plagioclasa (10%)

Estructura geopetal: indica dónde estaba la paleosuperficie o paleohorizontalidad al momento de la diagénesis. Se encuentran rellenas por carbonatos: metadominio de carbonatos o amigdalas. La mitad está rellena con clorita y la otra con carbonatos, los carbonatos se pueden distinguir por su pleocroísmo de relieve.

Más de un episodio de cementación. Primero relleno la clorita, después la calcita y después un mineral fibroso difícil de reconocer.

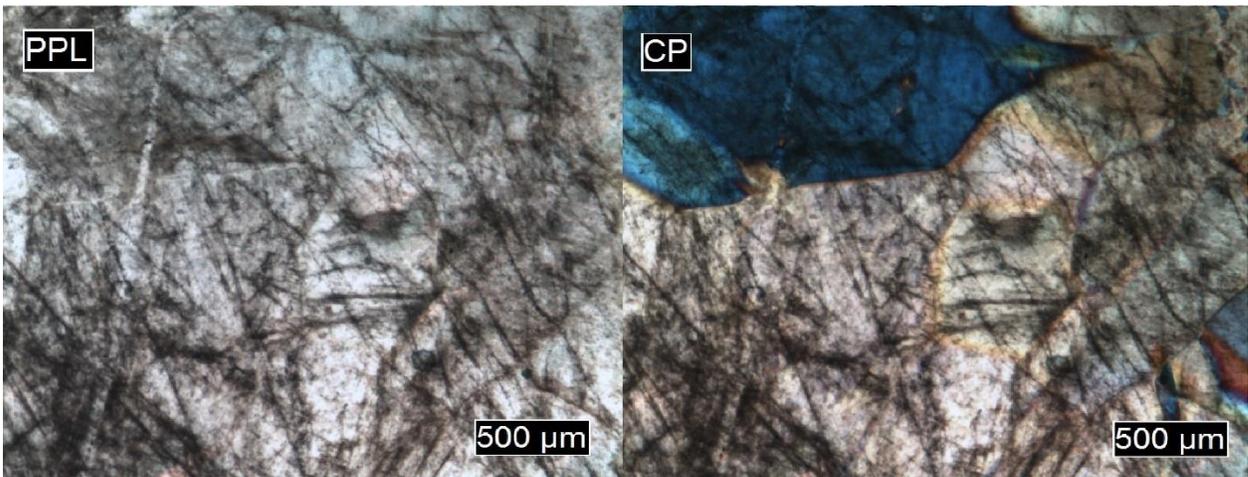


11. Anexo C

VETA ANTONIA

VA-J1

- Mineralogía: Cuarzo, limonita, sericita.
- Texturas: cuarzo jigsaw, euhedral y faethery.
- Inclusiones: escasas y muy pequeñas, gran parte se encuentra decrepitadas. FIAs primarias y secundarias L-rich, FIAs ricas en CO₂,
- Eventos: se reconocen dos eventos. El primero se asocia a cuarzo euhedral y subedral con óxidos e hidróxidos de hierro diseminados entre cristales. El segundo evento se subdivide en dos, (a) corresponde a vetillas de cuarzo jigsaw cortando a cristales del primer evento y (b) se asocia a vetillas mayoritariamente de óxidos de Fe y cuarzo jigsaw subordinado, que corta los eventos anteriores.
- Observaciones: gran cantidad de FIAs secundarias y FIAs decrepitadas.

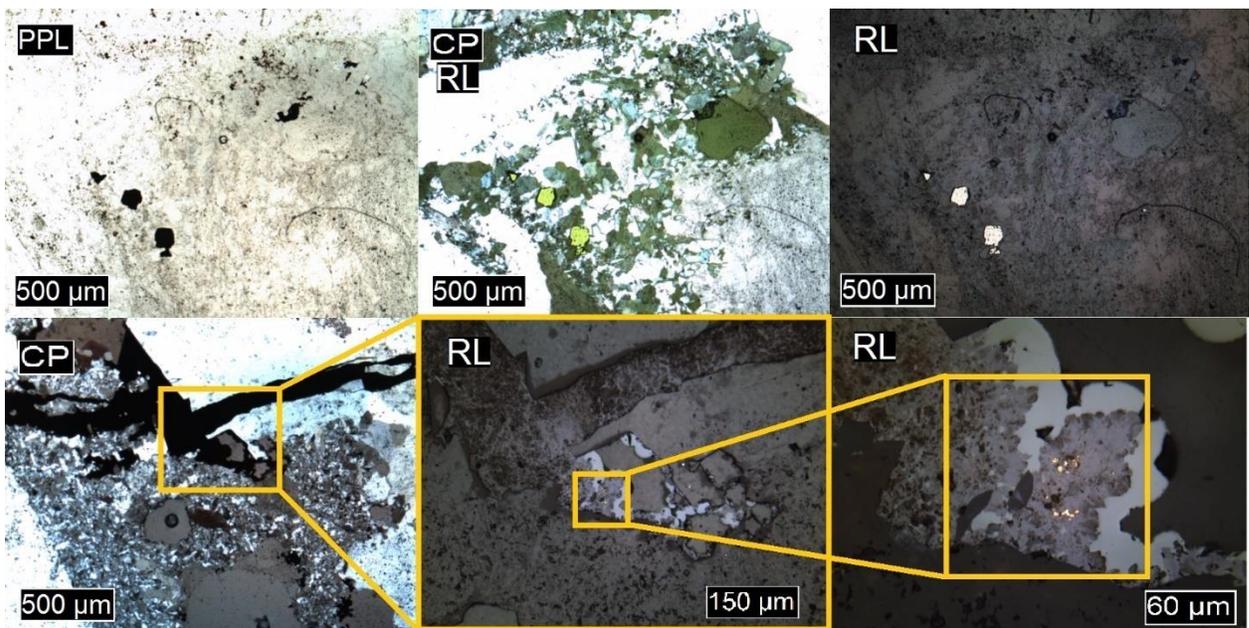


VA-03

- Mineralogía: Cuarzo, limonita, pirita.
- Texturas: euhedral, jigsaw y faethery.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, FIAs con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. FIAs ricas en CO₂, FIAs con sólidos
- Eventos: cuarzo euhedral con FIAs con sólidos y pirita diseminada como evento inicial, luego se tienen vetillas de cuarzo jigsaw y limonitas cortando el evento anterior.
- Observaciones: a diferencia de los otros cortes de la veta, en este no se reconocen tantas FIAs secundarias.

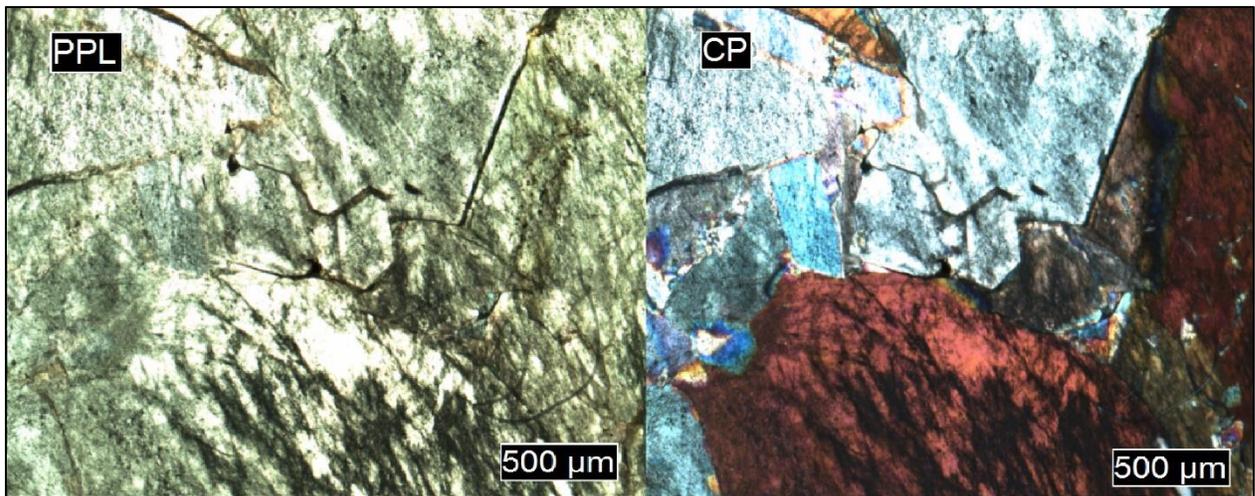
VA-04

- Mineralogía: Cuarzo, limonita, pirita y electrum.
- Texturas: euhedral, faethery y jigsaw
- Inclusiones: FIAs primarias y muchas secundarias L-rich, FIAs con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. FIAs ricas en CO₂, FIAs con sólidos
- Eventos: cuarzo euhedral con FIAs con sólidos y vetillas de óxidos con mineralización aurífera cortando al cuarzo euhedral. Se asocian estas vetillas a cuarzo jigsaw.
- Observaciones: a diferencia de los otros cortes de la veta, en este no se reconocen tantas FIAs secundarias.



VA-05

- Mineralogía: Cuarzo, limonita, sericita y electrum.
- Texturas: cuarzo jigsaw, euهدral y faethery.
- Inclusiones:FIAs primarias y muchas secundarias L-rich, FIAs con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. FIAs ricas en CO₂,
- Eventos: se reconocen dos eventos. El primero se asocia a cuarzo euهدral y subهدral con óxidos e hidróxidos de hierro creciendo diseminados entre cristales, posiblemente el electrum se asocie a este evento (no se observa en quickplate, pero sí en el rechazo). El segundo evento se subdivide en dos, (a) corresponde a vetillas de cuarzo jigsaw cortando a cristales del primer evento, en estas vetillas se encontró electrum y (b) se asocia a vetillas mayoritariamente de óxidos de Fe y cuarzo jigsaw subordinado, que corta los eventos anteriores.
- Observaciones: gran cantidad de FIAs secundarias y FIAs decrepitadas. Menor cantidad de vetillas del evento 2b cortando cuarzo euهدral.



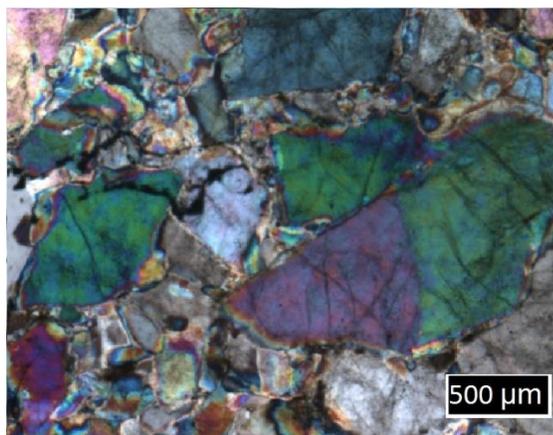
OTRAS VETAS

HUALAÑÉ 1

- Mineralogía: Cuarzo, limonita. Pirita y sericita
- Texturas: cuarzo euhedral, jigsaw y peineta.
- Inclusiones: FIAs primarias y muchas secundarias L-rich, FIAs con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. FIAs ricas en CO₂,
- Eventos: no se puede determinar.
- Observaciones:

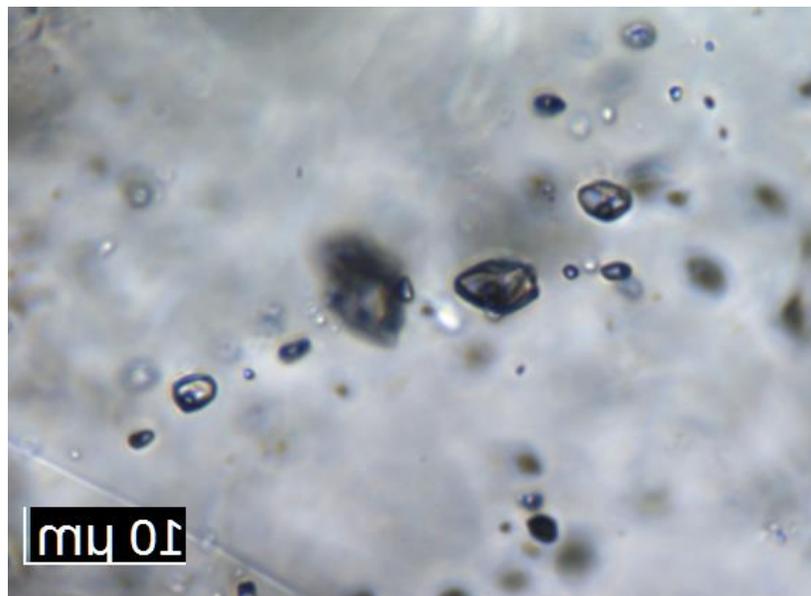
2.2.2.C

- Mineralogía: Cuarzo y sericita en zonas puntuales
- Texturas: cuarzo jigsaw y euhedral.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, FIAs con coexistencia V-rich y L-rich, FIAs V-rich e inclusiones accidentales (no FIA) ricas en CO₂.
- Eventos: se reconocen dos eventos. El primero se asocia a cuarzo euhedral y subedral con cristales de gran tamaño, algunos cercanos a 1 cm; el segundo, a cuarzo jigsaw creciendo en vetillas micrométricas a milimétricas, rellenando espacios entre cristales euhedrales del primer evento. Se reconocen dos tamaños de cuarzo jigsaw, uno fino y otro medio, ambos relacionados al mismo evento.
- Observaciones: Las FIAs observadas son muy pequeñas. La sericita documentada en la descripción se complementa con observaciones en muestras de mano.



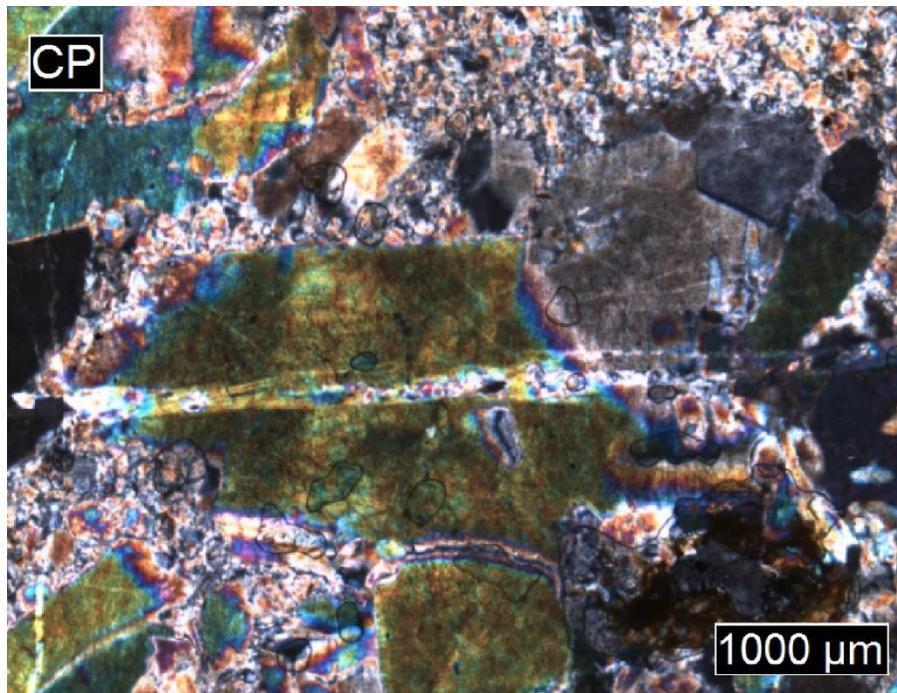
2.2.3.A

- Mineralogía: cuarzo y limonitas.
- Texturas: cuarzo euhedral, jigsaw y peineta.
- Inclusiones:FIAs primarias y secundarias L-rich, FIAs con coexistencia V-rich y L-rich y FIAs ricas en CO₂.
- Eventos: se reconocen tres eventos. El primero se asocia a cuarzo euhedral con dos familias de tamaño, uno de cristales grandes, entre 0.7 y 1 cm y otra familia de menor tamaño que los anteriores, entre 0.3 y 0.5 cm. Asociado a este evento se observa mineralización de óxidos e hidróxidos de hierro (limonitas). El segundo evento se relaciona al cuarzo jigsaw de tamaño fino y medio. Por último, se tiene un evento asociado a la generación de fracturas (dos) sin relleno, paralelas entre sí, rectas y continuas.



2.2.3.B

- Mineralogía: cuarzo, limonita y sericita
- Texturas: jigsaw, euهدral y peineta.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euهدral, FIAs con coexistencia V-rich y L-rich en cuarzo euهدral y jigsaw, FIAs L-rich en cuarzo peineta y FIAs ricas en CO₂.
- Eventos: Se reconocen tres eventos. El primero se asocia a cuarzo euهدral de tamaño variado, el segundo a cuarzo jigsaw con tamaños finos y el último a las vetillas de cuarzo jigsaw que atraviesan paralelamente todo el corte.
- Observaciones:

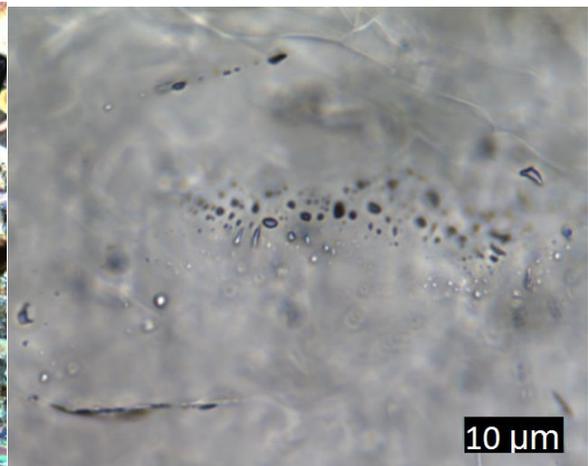
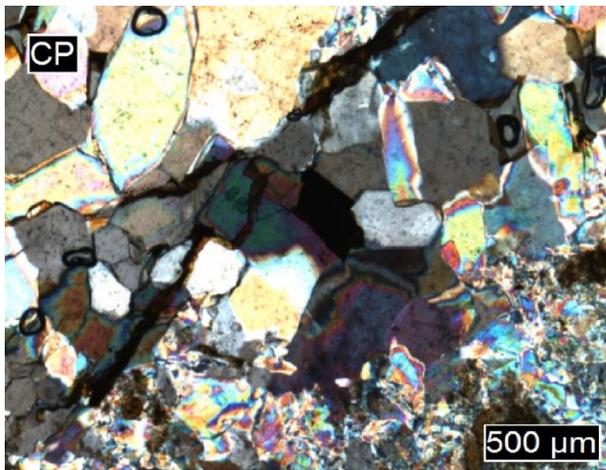


2.2.3.C

- Mineralogía: cuarzo, limonita, sericita.
- Texturas: euhedral, jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euhedral, FIAs con coexistencia V-rich y L-rich en cuarzo euhedral y jigsaw y FIAs ricas en CO₂.
- Eventos: se reconocen tres eventos. El primero se asocia a cuarzo euhedral de tamaño cercano a 1 cm; el segundo, a cuarzo jigsaw, sericita y limonitas en vetillas que cortan al cuarzo euhedral y, el tercero, a cuarzo zona en vetillas, creciendo perpendicular a las paredes de estas vetillas de menor tamaño.

2.2.5.C

- Mineralogía: cuarzo, sericita, limonita, pirita y arsenopirita(?)
- Texturas: euhedral, peineta, jigsaw y faethery(?)
- Inclusiones: escasas y muy pequeñas. Primarias y secundarias L-rich en cuarzo euhedral. Secundarias coexistiendo V-rich y L-rich en cuarzo euhedral y jigsaw.
- Eventos: Se reconocen tres eventos. El primero se asocia a cuarzo euhedral con mineralización de pirita y arsenopirita(?). El segundo a una vetilla que atraviesa gran parte del corte, con presencia de cuarzo jigsaw, limonita y sericita. El último se asocia a cuarzo peineta creciendo perpendicular a cavidades que se observan en quickplate y muestra de mano.
- Observaciones: A diferencia de otros cortes, las inclusiones observadas en este son muy pequeñas y escasas.

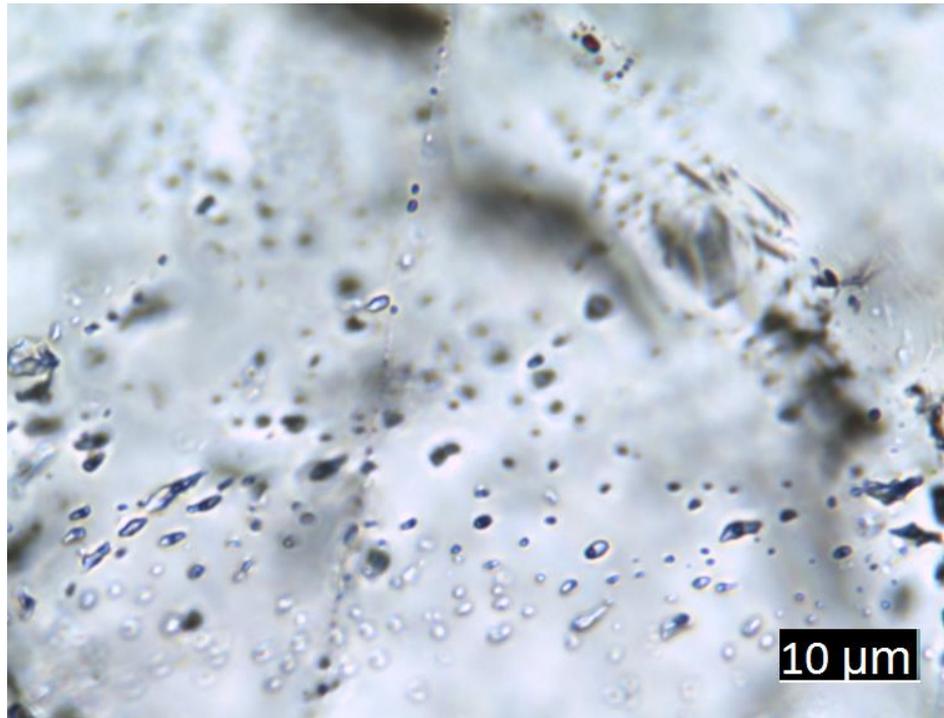


3.2.6

- Mineralogía: cuarzo, sericita, limonita y pirita.
- Texturas: jigsaw, euهدral y faethery(?)
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euهدral, FIAs primarias (?) y secundarias con coexistencia V-rich y L-rich en cuarzo euهدral, FIAs CO₂-rich y algunas inclusiones accidentales (no FIA) con posibles sólidos en su interior.
- Eventos: Se reconocen tres eventos. El primero se asocia a cuarzo euهدral con mineralización de pirita. El segundo a cuarzo jigsaw, limonita y sericita en vetillas y cúmulos, apreciables en gran parte del corte. El último se asocia a cuarzo jigsaw en vetillas que cortan a los eventos anteriores.
- Observaciones:

3.2.12

- Mineralogía: cuarzo, limonita y pirita.
- Texturas: euhedral, jigsaw y peineta.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euhedral, FIA CO₂-rich en cuarzo euhedral y FIAs secundarias con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich
- Eventos: Se reconoce un evento asociado a cuarzo euhedral con mineralización de pirita y otro evento asociado a dos vetillas de cuarzo jigsaw con mineralización de óxidos de hierro en las paredes de estas vetillas.
- Observaciones:

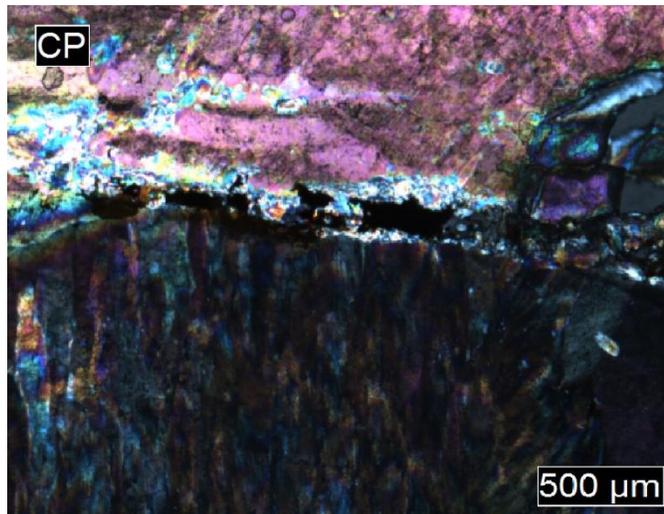


3.2.13

- Mineralogía: cuarzo y limonita.
- Texturas: euهدral, jigsaw y peineta.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euهدral, FIA CO₂-rich en cuarzo euهدral y FIAs primarias y secundarias (?) con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. También se encontraron inclusiones accidentales (no FIA) amorfas y con posibles sólidos en su interior.
- Eventos: Se reconoce un evento asociado a cuarzo euهدral y otro a vetilas de cuarzo jigsaw con mineralización de óxidos de hierro, el cual corta al evento anterior.
- Observaciones:

3D2PC8

- Mineralogía: cuarzo, limonita y pirita.
- Texturas: euhedral, jigsaw, faethery.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euhedral, FIA CO₂-rich en cuarzo euhedral y FIAs secundarias con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. También se encontraron inclusiones accidentales (no FIA) amorfas y con posibles sólidos en su interior.
- Eventos: Se reconoce un evento asociado a cuarzo euhedral con cristales de gran tamaño, cercano a 1 cm de tamaño y otro evento asociado a vetillas de cuarzo jigsaw que cortan los cristales del evento anterior.
- Observaciones: en gran parte de los cristales que son cortados por cuarzo jigsaw se observa una extinción anómala (textura faethery?)

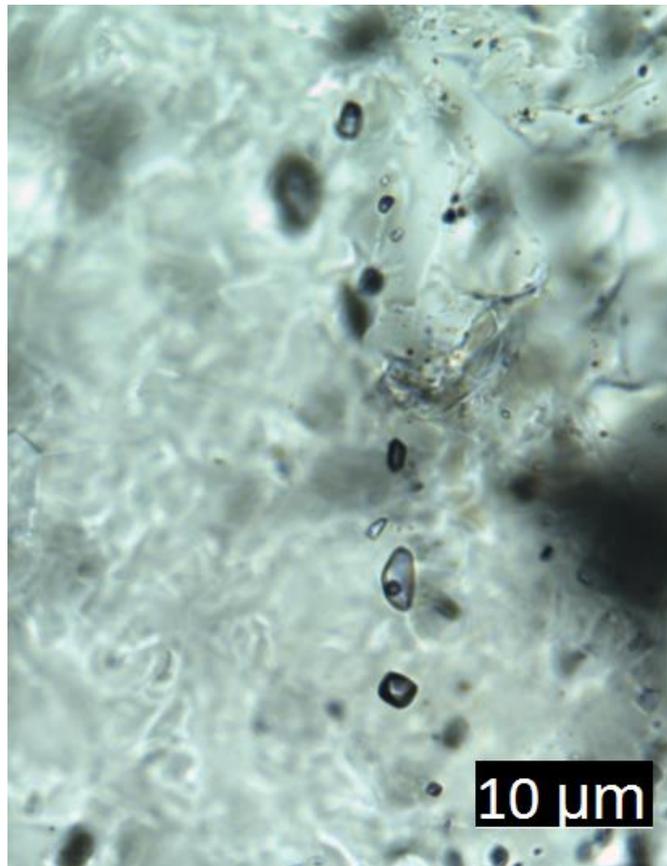


3D2P11

- Mineralogía: cuarzo, sericita y limonita.
- Texturas: euhedral, jigsaw y peineta.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich en cuarzo euhedral, FIA CO₂-rich primaria en cuarzo euhedral y FIAs secundarias con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. FIAs primarias decrepitadas
- Eventos: Difícil de determinar temporalidad. Pero se reconoce un evento asociado a vetillas cuarzo jigsaw, sericita y óxidos e hidróxidos de hierro; mientras que también se reconocen vetillas de cuarzo euhedral. Cuarzo peineta en fracturas y cavidades como evento posterior.
- Observaciones: difícil de determinar temporalidad. Pareciera haber una superposición de eventos observada en las vetillas.

3D3P27-1

- Mineralogía: cuarzo, sericita y limonita.
- Texturas: euhedral, jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, FIAs primarias y secundarias con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. Abundantes FIAs decrepitadas en cuarzo euhedral.
- Eventos: evento temprano con óxidos de hierro (py oxidada) asociados a cuarzo euhedral y otro posterior cortando cuarzo euhedral y jigsaw representado por vetillas de óxidos y cuarzo jigsaw.
- Observaciones: inclusiones de pequeño tamaño.

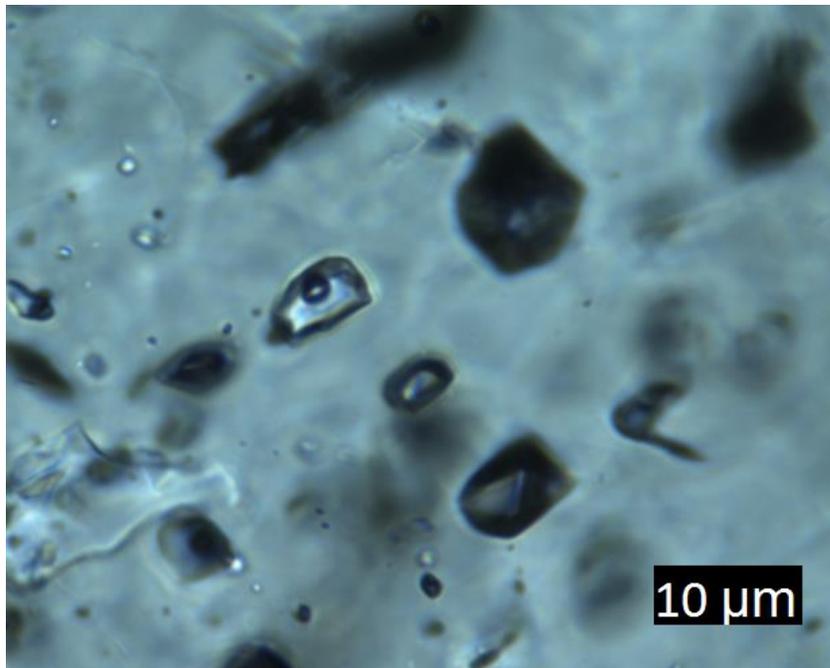


3D4P36-1

- Mineralogía: cuarzo y limonita.
- Texturas: euهدral y peineta en cavidades, faethery(?) y jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich y, por último, FIAs ricas en CO₂. Todas vistas en cuarzo euهدral.
- Eventos: se reconocen tres eventos, uno temprano con óxidos de hierro (py oxidada) asociados a cuarzo euهدral, otro con vetillas y fracturas rellenas por óxidos de hierro, las cuales cortan al cuarzo euهدral, y un tercer evento de cuarzo peineta en cavidades (tardío).
- Observaciones: inclusiones de gran tamaño tamaño (sobre 20 micrones algunas)

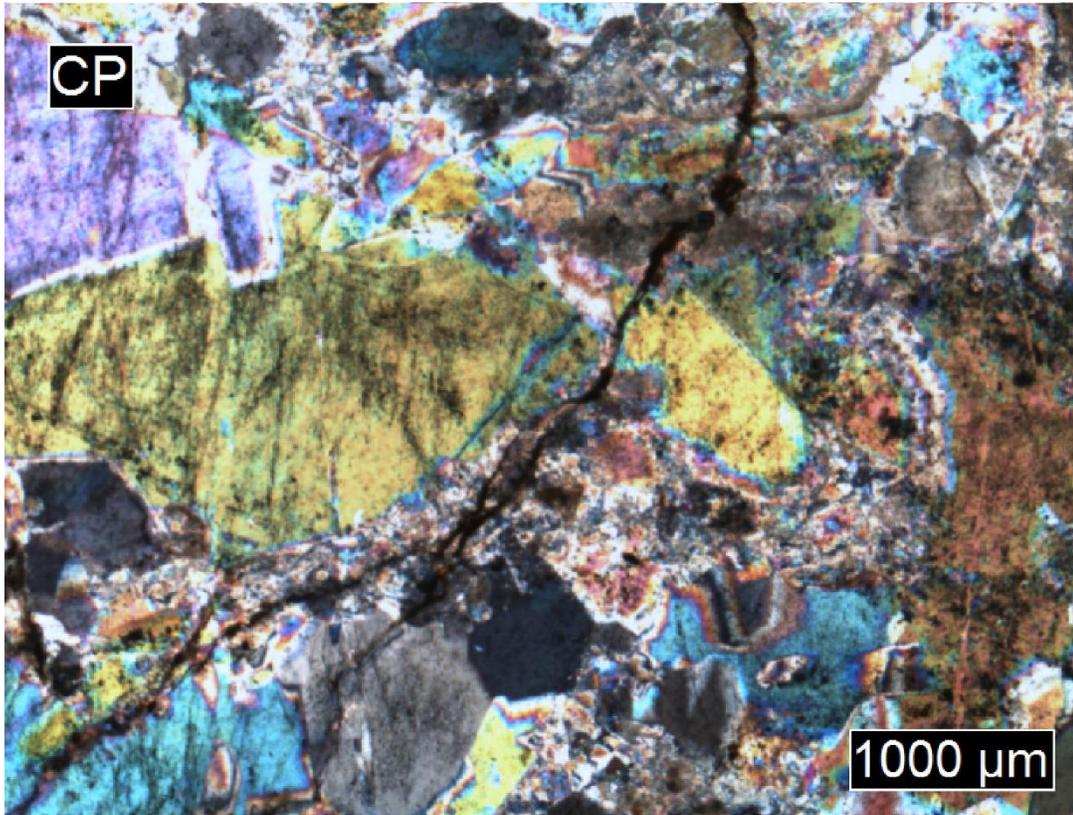
3D4P36-2

- Mineralogía: cuarzo y limonita.
- Texturas: euhedral, peineta en cavidades, faethery(?) y jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich y ricas en CO₂. Todas vistas en cuarzo euhedral.
- Eventos: se reconocen dos eventos, uno temprano con óxidos de hierro (py oxidada) asociados a cuarzo euhedral y otro de cuarzo peineta en cavidades (tardío)
- Observaciones: inclusiones de gran tamaño tamaño (sobre 20 micrones algunas)



3D6P66

- Mineralogía: cuarzo, sericita y limonita.
- Texturas: euhedral, peineta en cavidades, faethery(?) y jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich y ricas en CO₂. Todas vistas en cuarzo euhedral. Inclusión accidental (no FIA) con posible sólido.
- Eventos: se reconoce un evento que corta cristales de cuarzo y zonas con cuarzo jigsaw.
- Observaciones: difícil determinar temporalidad.



3D6P75

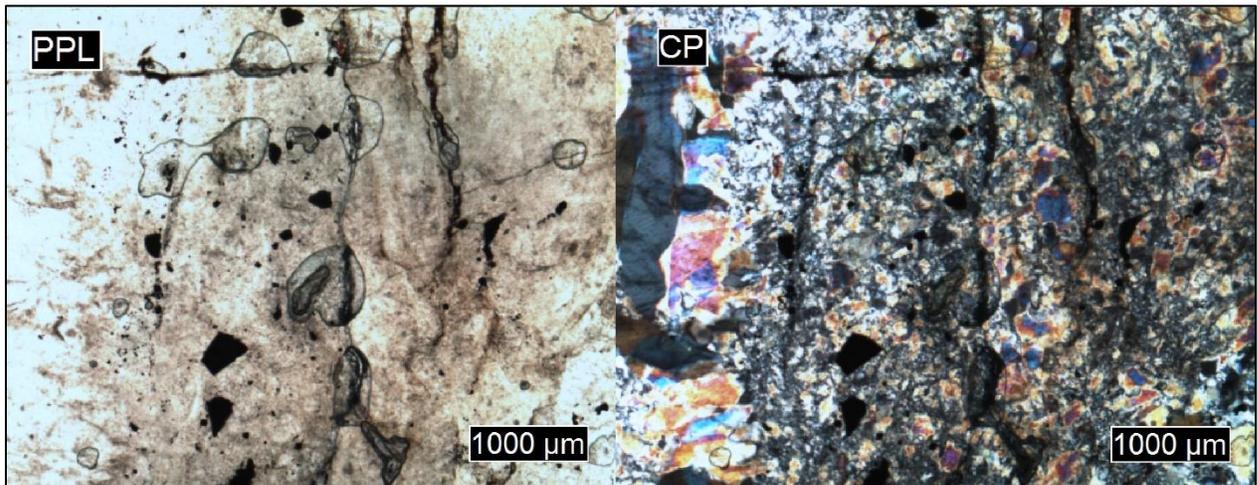
- Mineralogía: cuarzo, sericita y limonita.
- Texturas: euhedral, peineta en cavidades y jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich y ricas en CO₂. Todas vistas en cuarzo euhedral. Se reconoció una FIA V-rich (flashing) en cuarzo euhedral, aparentemente secundaria.
- Eventos: se reconocen dos eventos, uno asociado a cuarzo euhedral y minerales opacos creciendo entre los bordes del cuarzo y un segundo evento asociado a pequeñas vetillas rectas de cuarzo jigsaw que corta los cristales euhedrales
- Observaciones: inclusiones de gran tamaño, buen corte para estudios posteriores.

424.

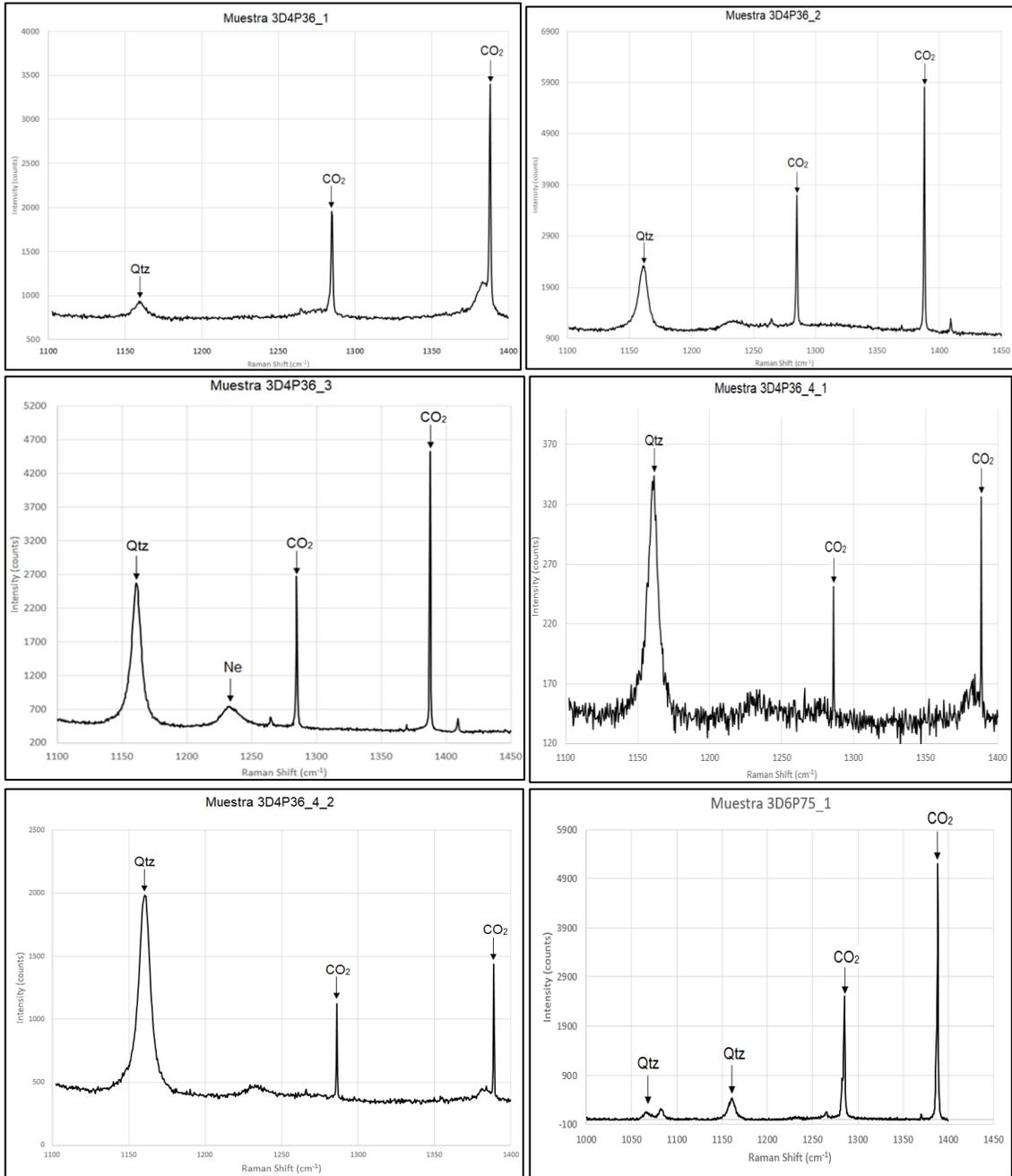
- Mineralogía: cuarzo, sericita y limonita.
- Texturas: euhedral, faethery (?) y jigsaw.
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich. Se reconocieron FIAs V-rich (flashing) en cuarzo euhedral, aparentemente secundarias.
- Eventos: se reconocen dos eventos, uno asociado a cuarzo euhedral y minerales opacos creciendo entre los bordes del cuarzo y un segundo evento asociado a pequeñas vetillas rectas de cuarzo jigsaw que corta los cristales euhedrales. El segundo evento también presenta mineralización de óxidos de hierro.
- Observaciones: en los bordes de los cristales euhedrales con las vetillas e cuarzo jigsaw, se observa preferentemente posible textura faethery.

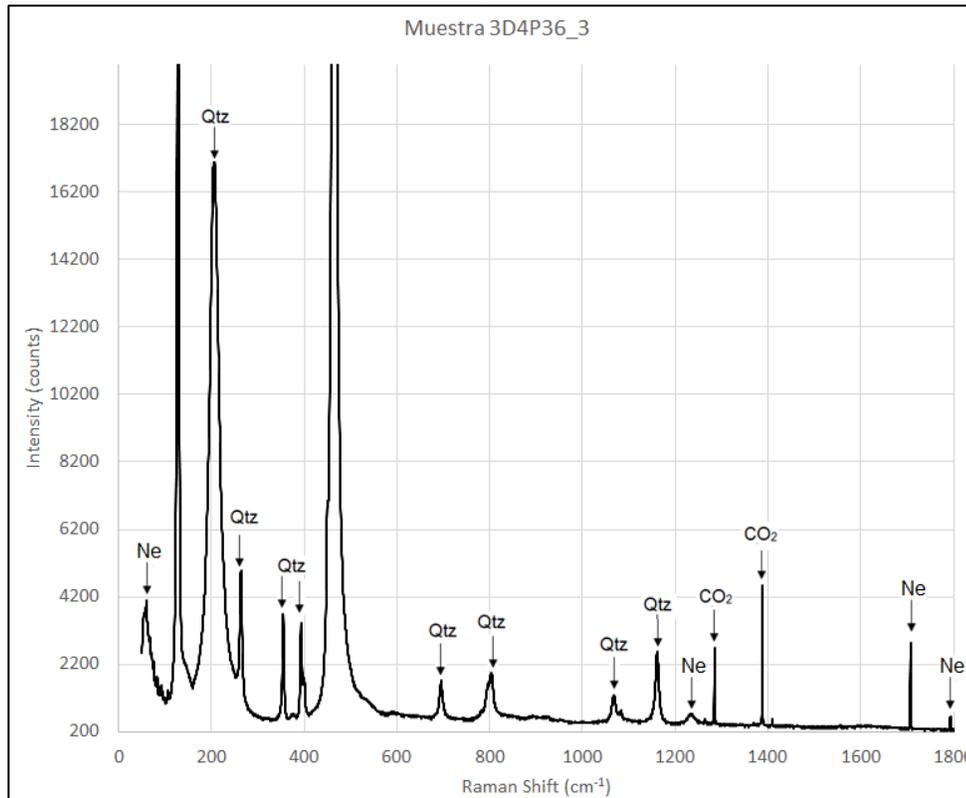
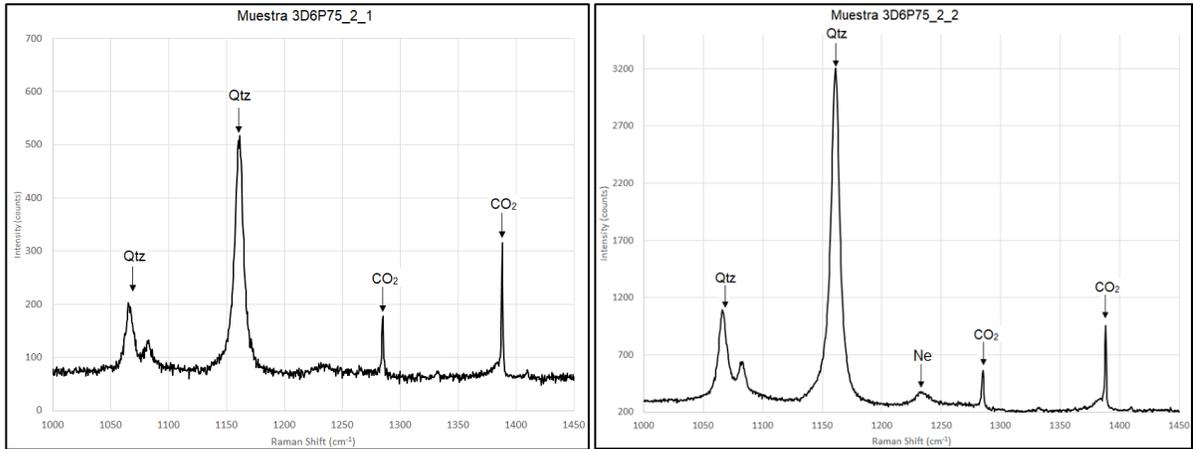
427

- Mineralogía: cuarzo, sericita, pirita, arsenopirita (?) y limonita.
- Texturas: jigsaw, euhedral y faethery (?).
- Inclusiones: FIAs primarias y secundarias L-rich, FIAs con coexistencia de inclusiones V-rich y L-rich en cuarzo euhedral. FIAs ricas en CO₂. Se reconocieron FIAs V-rich (flashing) en cuarzo euhedral, aparentemente secundarias e inclusiones aparentemente accidentales con sólidos en su interior.
- Eventos: se reconocen dos eventos, uno asociado a cuarzo euhedral y minerales opacos creciendo entre los bordes del cuarzo y, un segundo evento, que se puede subdividir en dos, (a) vetillas de cuarzo jigsaw con abundante mineralización y (b) vetillas de opacos cortando a ambos eventos anteriores, pero de orientación y envergadura similar a (a), razón por la cual se asocia al segundo evento y no a uno tercero.
- Observaciones: abundantes sulfuros y FIAs decrepitadas.



Anexo D





CÁLCULO PRESIÓN Y DENSIDAD						
FIA	V ₋	V ₊	Δ	Δ _{corregido}	P(psi)	ρ(g/cm ³)
3D4P36_1	1284.91	1388.12	103.21	103.7704997	637.095063	0.39846854
3D4P36_2	1284.86	1387.93	103.07	103.6297394	799.032526	0.3485251
3D4P36_3	1284.7	1387.76	103.06	103.6196851	807.987179	0.34495771
3D4P36_4_1	1285.98	1388.59	102.61	103.1672413	850.448002	0.18442522
3D4P36_4_2	1285.98	1388.59	102.61	103.1672413	850.448002	0.18442522
3D6P75_1	1285.12	1388.32	103.2	103.7604454	650.926025	0.39490115
3D6P75_2_1	1285.15	1388.2	103.05	103.6096308	816.593524	0.34139032
3D6P75_2_2	1285.15	1388.2	103.05	103.6096308	816.593524	0.34139032

