



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

**GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA-ARGENTÍFERA DE LA VETA JULIA
EN EL DISTRITO AMANCAYA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

RICARDO MAURICIO FUENTEALBA NAVARRETE

PROFESOR GUÍA:
FERNANDO BARRA PANTOJA

PROFESOR CO-GUÍA:
DIEGO MARTIN GUIDO

COMISIÓN:
MARTIN REICH MORALES

Este proyecto ha sido financiado por el proyecto Núcleo Milenio “Trazadores de Metales en Zonas de Subducción” NC130065 y Austral Gold Limited

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Geólogo

POR: Ricardo Mauricio Fuentealba Navarrete

FECHA: 23/04/2019

PROFESOR GUÍA: Fernando Barra Pantoja

PROFESOR CO-GUÍA: Diego Martin Guido

GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA-ARGENTÍFERA DE LA VETA JULIA EN EL DISTRITO AMANCAYA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE

Los yacimientos epitermales se forman en las partes superficiales de los sistemas magmático-hidrotermales y son una buena fuente para la obtención de Au y Ag. Los depósitos epitermales de baja sulfuración se caracterizan por una mineralización metálica que corresponde a pirita, esfalerita, galena, electrum, oro nativo, sulfosales de Ag, acantita y calcopirita entre otros. Un conocimiento de la mineralización y alteración presente en un depósito es fundamental para su extracción económica, ya que la mineralogía de mena y ganga afecta directamente en la recuperación de Au-Ag.

Considerando lo anterior, en este estudio se realiza una evaluación geológica de la veta Julia en el distrito Amancaya, ubicada en la región de Antofagasta, considerando la caracterización de la mineralogía de mena y ganga mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM), formulando modelos de litología, alteración, mineralización y leyes, utilizando el software Leapfrog Geo.

La mineralogía de ganga de la veta Julia corresponde principalmente a cuarzo, adularia, calcita, cerusita y limonitas, mientras que la mineralogía metálica se caracteriza principalmente por pirita, calcopirita, galena, esfalerita, malaquita, plancheíta, motramita y mimemita. Las partículas de oro encontradas corresponden principalmente a oro nativo de entre 5 y 10 μm las que se encuentran asociadas a carbonatos y cuarzo, aunque se encontraron partículas de hasta 50 μm que corresponden a electrum con inclusiones de oro nativo. La mayor parte del oro se encuentra libre u ocluido en carbonatos, y no se encontró oro encapsulado en sulfuros. La plata, por su parte, se encuentra mayormente en electrum y se detectaron muy pocos minerales de plata, como acantita o clorargirita.

Los resultados sugieren que veta Julia es un depósito epitermal donde dominan los procesos ligados a baja sulfuración y se reconocen dos eventos de mineralización/alteración. Un primer evento hipógeno que se caracteriza por la presencia de sulfuros de cobre, plomo y zinc diseminados principalmente en cuarzo con texturas de recristalización. Mientras que el segundo evento es supérgeno y se caracteriza por la oxidación de los sulfuros generando limonitas, cerusita y óxidos de cobre, además de arseniatos y vanadatos. Finalmente, mediante los modelos de litología y leyes, además de un modelo de bloques, se reportan 26.600 onzas de oro y 75.033 onzas de plata, de las cuales 23.003 Oz Au y 66.707 Oz Ag son recursos indicados, mientras que 3.597 Oz Au y 8.326 Oz Ag son recursos inferidos.

A mis padres, *Leandro y Elena*, y mi abuela *Tatiana*.

Agradecimientos

Primero que todo agradezco a Dios, porque por él soy quién soy y estoy donde estoy. A mi familia por darme las oportunidades para llegar hasta acá. Mi padre que siempre se ha esforzado por darme el acceso a la educación, mi madre que siempre se ha preocupado de que esté bien, mi hermana que renunció a varias cosas para que yo tuviera mejores oportunidades, y toda la familia que siempre me apoyó. Mención especial para mi mamita vieja, que no alcanzó a verlo, pero que siempre decía “mi nieto va a ser profesional”.

De forma especial quiero agradecer a Fernanda, que ha estado a mi lado en casi todo este camino y en cada crisis que tuve, ella ha tenido una paciencia y amor incondicional. Ha sido la mejor compañera, más de lo que me podría haber imaginado. Muchas gracias por el amor, el cuidado, el tiempo, las risas, el apañe siempre, muchas gracias por todo. Gracias también a su familia, mi segunda familia, por el apoyo que siempre me dieron.

Agradezco a mi profesor guía Dr. Fernando Barra por su comprensión y preocupación más allá de lo académico, que sin conocerme bien me dio una oportunidad y me apoyó siempre. A mi profesor co-guía Dr. Diego Guido, por su buena disposición y ayuda. También al Dr. Martin Reich por sus comentarios y apoyo.

Además a Gonzalo Tufiño, Stabro Kasaneva, Iván Cáceres, Constantino Méndiz, Jorge Osorio, Karen Gallardo, Miguel Marín, Sebastián Ramírez y toda la gente de Austral Gold que ha ayudado en mi formación. Especialmente a Herman Villegas y Juan Carlos James, por su ayuda y consejos.

Quiero agradecer a mis compañeros, especialmente a Fran, Seba, Navia, Dani, Feña y Domi, que aportaron su grano de arena cada vez que fue necesario. A los que estuvieron conmigo desde el principio, Martín, Pipe, Bastián y Nico. A mis compañeros de oficina, especialmente a Nelson, Gilla y Rurik que me ayudaron mucho.

Agradezco a los funcionarios del Departamento de Geología de la FCFM, en especial a Blanca y Cami que siempre solucionaron todos mis problemas y me ayudaron con cada cosa que necesitaba. Y también a Rosita que me recibió todos los días con una sonrisa.

Finalmente, agradezco al Núcleo Milenio Trazadores de Metales NC130065 por acogerme, por las comodidades y por las oportunidades que me brindó.

Tabla de Contenido

Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Formulación del Estudio	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Hipótesis	4
1.5 Metodología	5
Capítulo 2 Marco Geológico	7
2.1 Geología Regional	7
2.2 Geología Distrital	13
Capítulo 3 Geología de la veta Julia	18
3.1 Generalidades	18
3.2 Litología	18
3.3 Alteración hidrotermal	20
3.4 Mineralogía	22
3.5 Mineralización de Au-Ag-Cu	37
4 Modelos	39
4.1 Generalidades	39
4.2 Litología	39
4.3 Leyes Au-Ag-Cu	41
4.4 Modelo de bloques	43
4.5 Sección longitudinal de ancho y ley de la veta	44
5 Discusión	48
5.1 Litología	48
5.2 Alteración	49
5.3 Mineralización	49
5.4 Implicancias metalúrgicas	52
5.5 Modelos	52
5.6 Implicancias en la exploración	53
5.7 Comparación con veta Central	53
6 Conclusiones	55
Bibliografía	57
Anexos	60

Índice de Figuras

Figura 1: Foto aérea de la mina Amancaya. DBO: Dominio Bloque Oeste, SFLP: Sistema de Fallas La Peineta, DCC: Dominio Cuenca Central.	1
Figura 2: Ubicación de la mina Amancaya y su vía de acceso principal. La ruta roja marca el camino B-905-C, que permite el acceso a la mina desde el cruce de Aguas Verdes.	3
Figura 3: Morfoestructuras en la región de Antofagasta. Modificado de SERNAGEOMIN (2003).	8
Figura 4: Geología del área de estudio con la ubicación del distrito Amancaya. Modificado de Matthews et al. (2010).	9
Figura 5: Leyenda de la geología del área de estudio (Figura 4). Modificado de Matthews et al. (2010)	10
Figura 6: Geología del distrito minero Amancaya. Modificado de Páez et al. (2016).	14
Figura 7: Muestras de superficie correspondiente a la Brecha Amancaya. En A) y B) se observa que los clastos pueden alcanzar tamaños decimétricos. En C) se observan clastos de menor tamaño de hasta un par de milímetros.	18
Figura 8: Muestras de sondajes correspondientes a veta con poca brechización. En A) se observa la textura crustiforme con bandas que presentan texturas coloforme y “ <i>comb</i> ”. En B) se distingue parte de una veta de cuarzo masiva con abundantes oquedades rellenas por limonitas. En C) se aprecia una veta de cuarzo con textura “ <i>comb</i> ” y cuarzo microcristalino de colores verde y rosado.	19
Figura 9: Muestras de sondaje correspondiente a brecha hidrotermal de cuarzo. En A) se tiene una brecha matriz-soportada con clastos de cuarzo de la veta previa. En B) también una brecha matriz soportada con clastos de mayor tamaño, que preservan texturas de la veta. En C) se observa una brecha con textura “ <i>cockade</i> ”, con clastos de cuarzo microcristalino y cemento de cuarzo con textura “ <i>comb</i> ”	20
Figura 10: Sección transversal a la veta, realizada en la coordenada 7171214N.	21
Figura 11: Bandas de la textura crustiforme en sondaje AM068 (155,6 m). Se pueden ver bandas con diferencias granulométricas, mediante luz transmitida en A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados.	22
Figura 12: Textura “ <i>jigsaw</i> ” presente en sondaje AM068 (155,6 m), observada mediante luz transmitida en A) nicoles paralelos y B) nicoles cruzados.	23
Figura 13: Banda con textura “ <i>comb</i> ” presente en sondaje AM068 (155,6 m), observada mediante luz transmitida en A) nicoles paralelos y B) nicoles cruzados.	23
Figura 14: Textura plumosa en cristales de mayor tamaño en sondaje AM068 (155,6 m), observada mediante luz transmitida en A) nicoles paralelos y b) nicoles cruzados.	23
Figura 15: Imagen de electrones retrodispersados (BSE), de sondaje AM068 (155.6 m). Ad: Adularia, Sid: Siderita, Mtm: Motramita, Qz: Cuarzo.	24

Figura 16: Carbonatos presentes en sondaje AM092 (69,2 m). Cerusita (Css) en cuarzo (Qz) observado mediante luz transmitida en A) nícoles paralelos, B) nícoles cruzados, C) nícoles paralelos y D) nícoles cruzados.	25
Figura 17: Limonitas presentes en sondaje AM084 (155,2 m). A) Goethita mediante luz transmitida en nícoles paralelos y B) Jarosita mediante luz reflejada en nícoles cruzados.	25
Figura 18: Pirita (Py) oxidada con limonita (Lmn), en cuarzo (Qz). Observado mediante luz reflejada en A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados.	26
Figura 19: Sulfuros de Cu presentes en sondaje AM068 (155,2 m). Se observa calcopirita (Cpy) intercrecida con calcosina (Cc) y pirita (Py), con bordes de calcosina y digenita (Dg). Además se aprecia pirita reemplazada por calcosina. A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados.	26
Figura 20: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Mismo cristal de calcopirita observado en la Figura 17.	27
Figura 21: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m de profundidad). Cristal de calcopirita (Cpy) y calcosina (Cc), siendo reemplazado por goethita (Goe). El cristal se encuentra en cuarzo (Qz).	27
Figura 22: Reemplazo pseudomórfico de pirita euhedral por goethita (Goe) en cuarzo (Qz) presentes en sondaje AM068 (155,6 m). Observado mediante luz reflejada en nícoles paralelos. En A) vista general y en B) Detalle de los cristales cúbicos.	28
Figura 23: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Cristales de goethita (Goe) en masa fundamental de cuarzo (Qz).	28
Figura 24: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Galena (Gn), esfalerita (Ef) y Calcosina (Cc) diseminados en cuarzo (Qz).	29
Figura 25: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Esfalerita (Ef) intercrecida con Galena (Gn) en cuarzo (Qz).	30
Figura 26: Oro (Au) y electrum (Elc) en contacto o cerca del contacto entre cerusita (Css) y cuarzo (Qz). Observado mediante luz reflejada en A) nícoles paralelos y b) nícoles paralelos.	30
Figura 27: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM092 (69,2 m). Oro (Au) y electrum (Elc) en contacto con cerusita (Css) y cuarzo (Qz).	31
Figura 28: Muestra del sondaje AM092 (69,2 m). Malaquita (Mlq) y plancheíta? (Pct) junto a cerusita (Css), relleno de espacios en el cuarzo (Qz). A) Luz transmitida con nícoles paralelos, B) Luz reflejada con nícoles paralelos.	31
Figura 29: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Malaquita (Mlq) junto a mimetita? (Mim), relleno de espacios en cuarzo (Qz).	32
Figura 30: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Goethita (Goe) y hematita (Hm) en cuarzo (Qz).	33
Figura 31: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM092 (69,2 m). Coronadita (Cdt) relleno de cavidades en cuarzo (Qz).	34

Figura 32: A) Muestra del sondaje AM071 (125,4 m). Goethita (Goe) y calamina (Cal) relleno en cuarzo (Qz) Mediante luz transmitida con nícoles paralelos., B) Muestra del sondaje AM076 (70,65 m). Calamina (Cal) y limonitas (Lmn) relleno entre galena (Gn). Mediante luz reflejada con nícoles paralelos.....	35
Figura 33: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Motramita (Mtm) junto a siderita (Sid), en adularia (Ad) bastante meteorizada y cuarzo (Qz), con abundantes oquedades.	35
Figura 34: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Mimetita (Mém) junto a celestina (Cel) en cuarzo.	36
Figura 35: Q-Q plot de pares de leyes de cobre, oro y plata.	38
Figura 36: Modelo de litología. En rojo la veta Julia, en verde la Brecha Amancaya y en amarillo la cubierta aluvial. A) Vista isométrica con transparencia aplicada para poder apreciar la veta en su interior. B) Sección transversal a la veta, realizada en la coordenada 7171300. C) Sección transversal a la veta, realizada en la coordenada 7171100.	40
Figura 37: Modelo de leyes de oro, vista hacia el oeste, usando interpolador RBF. En azul leyes menores a 1,0 ppm, en verde leyes entre 1,0 ppm y 2,0 ppm, en amarillo leyes entre 2,0 ppm y 4,0 ppm, en naranja leyes entre 4,0 ppm y 8,0 ppm, y en rojo leyes mayores a 8,0 ppm.	42
Figura 38: Modelo de leyes de plata, vista hacia el oeste, usando interpolador RBF. En azul leyes menores a 5,0 ppm, en verde leyes entre 5,0 ppm y 10,0 ppm, en amarillo leyes entre 10,0 ppm y 20,0 ppm, en naranja leyes entre 20,0 ppm y 40,0 ppm, y en rojo leyes mayores a 40,0 ppm.	42
Figura 39: Modelo de leyes de cobre, vista hacia el oeste, usando interpolador RBF. En azul leyes menores a 500 ppm, en verde leyes entre 500 ppm y 1500 ppm, en amarillo leyes entre 1500 ppm y 2500 ppm, en naranja leyes entre 2500 ppm y 3500 ppm, y en rojo leyes mayores a 3500 ppm.	43
Figura 40: Sección longitudinal del ancho de la veta. En azul se ilustran las zonas con un ancho menor a 1 m, en verde entre 1 y 2 m, en amarillo entre 2 y 3 m, en naranja entre 3 y 4 m, y en rojo los anchos son cercanos a 5 m.	45
Figura 41: Sección longitudinal de ancho por ley de oro. En azul los valores menores a 1,5 ppm x m, en verde entre 1,5 y 3,0 ppm x m, en amarillos entre 3,0 y 6,0 ppm x m, en naranja entre 6,0 y 12,0 ppm x m y en rojo los valores son cercanos a 20,0 ppm x m.	46
Figura 42: Sección longitudinal de ancho por ley de plata. En azul los valores menores a 5,0 ppm x m, en verde entre 5,0 y 10,0 ppm x m, en amarillos entre 10,0 y 15,0 ppm x m, en naranja entre 15,0 y 20,0 ppm x m y en rojo los valores son cercanos a 40,0 ppm x m.	46
Figura 43: Sección longitudinal de ancho por ley de plata. En azul los valores menores a 500 ppm x m, en verde entre 500 y 1500 ppm x m, en amarillos entre 1500 y 2500 ppm x m, en naranja entre 2500 y 3500 ppm x m y en rojo los valores alcanzan los 7000 ppm x m.	47
Figura 44: Niveles de brechización presente en sondaje AM084 (155,2 m). Observado mediante luz transmitida en A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados. Los números 1, 2 y 3 representan los niveles de brechización.....	48

Figura 45: Secuencia paragenética de la veta Julia.	50
Figura 46: Esquemmatización de la veta Julia.	51

Índice de Tablas

Tabla 1: Coeficientes de correlación entre leyes Au-Ag-Cu del total de los datos y de los que corresponden a veta.	37
Tabla 2: Tabla de volumen y masa versus tipo de pozo.	41
Tabla 3: Datos modelo de bloques. Id corresponde a un número identificador para cada dato, X es la coordenada este, Y la coordenada Norte, Z la altura. dX, dY, dZ son las medidas del bloque, y Ag (ppm), Au (ppm) y Cu (ppm) son las leyes estimadas.	44
Tabla 4: Cantidades de oro y plata en onzas para cada modelo realizado. En amarillo el tamaño seleccionado.	44
Tabla 5: Coeficientes de correlación entre leyes de Au-Ag-Cu en el modelo de bloques.	44
Tabla 6: Nivel de confianza en la estimación según cuadrantes.	52
Tabla 7: Celdas, volúmenes y tonelajes de veta, y onzas de oro y plata según recursos inferidos, indicados y medidos.	53

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

Austral Gold es una empresa minera y de exploración de metales preciosos la cual se encuentra en crecimiento. Actualmente cuenta con tres operaciones mineras y varios proyectos de exploración tanto en Chile como en Argentina. Las minas en operación son Guanaco y Amancaya en el norte de Chile y mina Casposo en Argentina. La compañía tiene su sede principal en Sídney, Australia y cotiza en la Bolsa de Valores de Australia (ASX: AGD) y Toronto Venture Exchange (TSXV: AGLD).

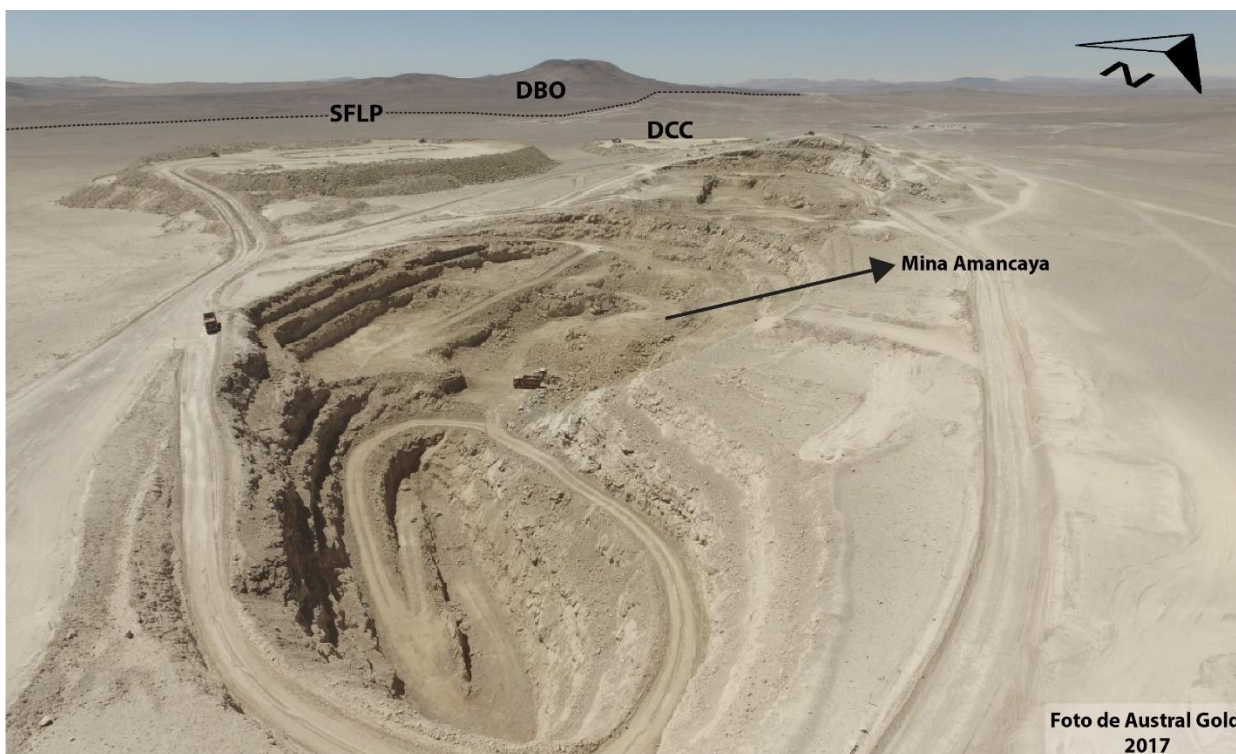


Figura 1: Foto aérea de la mina Amancaya. DBO: Dominio Bloque Oeste, SFLP: Sistema de Fallas La Peineta, DCC: Dominio Cuenca Central.

En el distrito Amancaya se han reconocido 2 vetas principales del tipo epitermal de baja sulfuración: veta Central, la cual se encuentra en producción (Figura 1) y veta Julia que actualmente se encuentra en evaluación. En el distrito se reconocen 2 dominios geológicos principales separados

por el principal rasgo estructural de la zona, el Sistema de Fallas La Peineta. Hacia el poniente se tiene el dominio Bloque Oeste y hacia el oriente el dominio Cuenca Central, donde se encuentra la mina Amancaya (Páez et al., 2016).

La mineralización metálica en la veta Central corresponde a electrum, sulfosales de plata, oro nativo y plata nativa diseminados, además de esfalerita, galena, calcopirita y piritita accesorias. Las gangas principales son cuarzo, adularia, carbonatos, arcillas, limonita, y óxidos de manganeso (López et al., 2017).

La operación de la mina Amancaya se ha realizado mediante un rajo y labores subterráneas. El rajo cuenta con 4 fases y las labores subterráneas con al menos 4 niveles de extracción.

1.1.1 Trabajos Anteriores

La mayor parte de los trabajos existentes corresponden a informes internos, pero también se cuenta con publicaciones presentadas en congresos y simposios. A continuación se listan los trabajos previos realizados en el distrito:

- Chong, G. (2003) Informe Preliminar del Potencial Minero del Prospecto de Au-Ag Amancaya. Informe técnico realizado para Mónica González Pinto. Antofagasta, noviembre 2003. 13 p.
- Sillitoe, R. (2005) Comments on Exploration of The El Peñón, Amancaya, and La Pepa Gold-Silver Districts, Northern Chile. 9 p.
- Corbett, G. (2005) Comments Mineral Exploration in The El Peñón Mine Area, Amancaya and Flor De Chile Projects, Northern Chile. 24 p.
- Minera Meridian Ltda. (2006) Informe Geológico-Técnico Del Prospecto Amancaya, II Región, Chile (II Edición Actualizada). 75 p.
- Minera Fuego Ltda. (2008) Sector Amancaya Sur. Informe. 14 p.
- Minera Fuego Ltda. (2009) Sector Amancaya Oeste. Informe. 11 p.
- Matthews, S., Espinoza, F., Cornejo, P., Venegas, C. (2010) Carta Altamira, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Páez, G., Permuy, C., Guido, D. (2016) Informe: Mapeo Geológico y de Mineralizaciones, Distrito Amancaya, Antofagasta, Chile. 42 p.
- López, P., Páez, G., Guido, D., Permuy, C., Heit, F. (2017) Mineralización auroargentífera en el depósito epitermal del distrito Amancaya, II Región, Chile. XX Congreso Geológico Argentino. 6 p.
- López, P., Salvioli, M., Curci, M., Páez, G., Guido, D. (2018) Central Vein Fluid Inclusions from the Amancaya Epithermal District, Paleocene-Eocene Metallogenic Belt, II Region, Northern Chile. International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium, Salta, Argentina. 2 p.
- López, P., López L., Guido, D., Páez, G. (2018) Tridimensional Modelling of Epithermal Pulses at Central Vein, Amancaya Mine, II Region, Chile. International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium, Salta, Argentina. 2 p.

1.1.2 Ubicación y Vías de Acceso

El distrito Amancaya se encuentra ubicado en el borde oeste de la depresión central, hospedado en una cuenca con depósitos volcánicos de edad Paleocena-Eocena. Las coordenadas son 7172000 Norte y 418500 Este (UTM PSAD-56), a 70 km de la ciudad de Taltal, Región de Antofagasta, Chile (Figura 2). El acceso a la zona es mediante la ruta B-905-C que nace desde la ruta 5 en el cruce de Aguas Verdes.

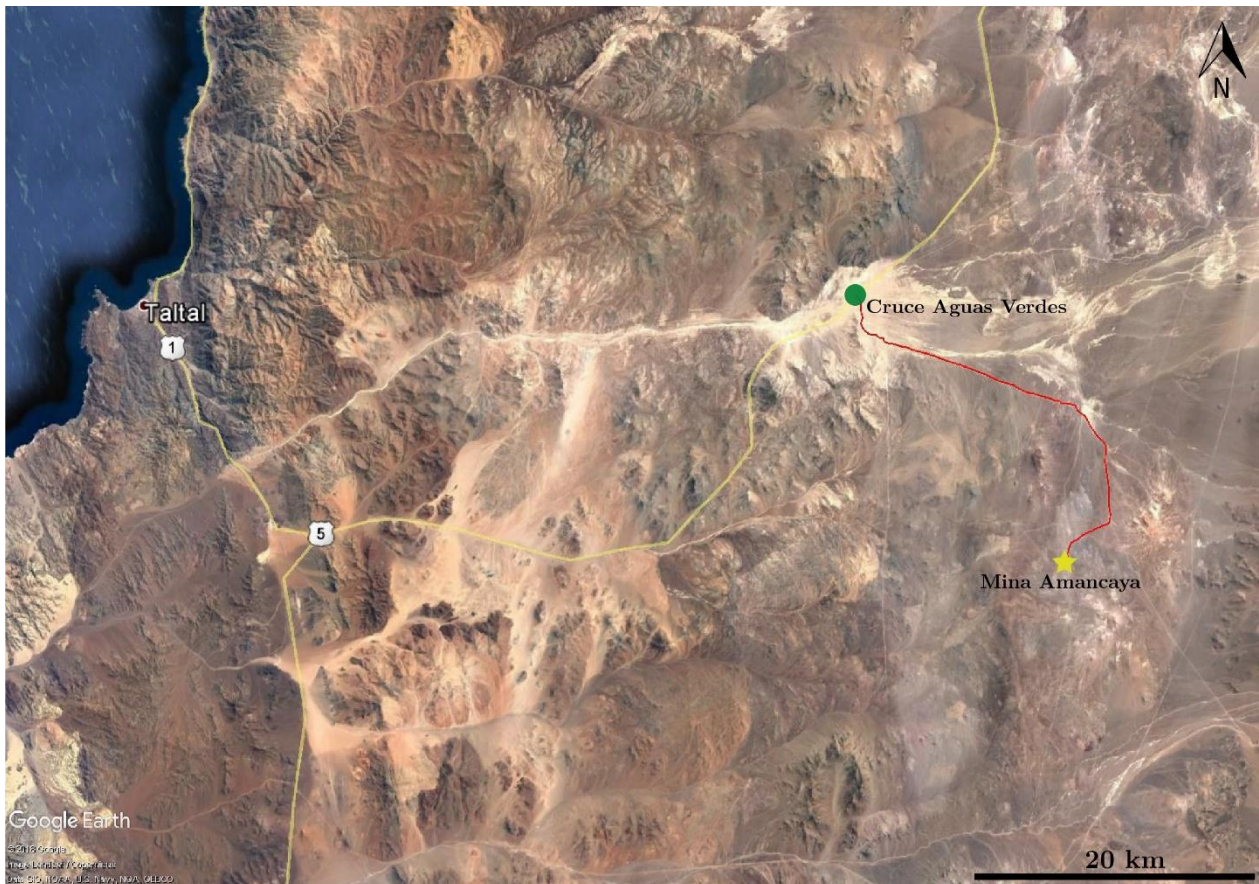


Figura 2: Ubicación de la mina Amancaya y su vía de acceso principal. La ruta roja marca el camino B-905-C, que permite el acceso a la mina desde el cruce de Aguas Verdes.

1.2 Formulación del Estudio

Los yacimientos epitermales se forman en las partes superficiales de los sistemas magmático-hidrotermales y comúnmente son explotados por Au-Ag (Cooke y Simmons, 2000). Una división de primer orden distingue depósitos de alta sulfuración y de baja sulfuración (Hedenquist, 1987). Los de baja sulfuración pueden dividirse en 3 subcategorías: pobres en sulfuros asociados a rocas riolíticas subalcalinas, pobres en sulfuros asociados a rocas alcalinas y ricos en sulfuros asociados a andesitas-riodacitas subalcalinas. Mientras que los de alta sulfuración normalmente están asociados a volcanismo andesítico-riodacítico subalcalino (Sillitoe, 1993).

Normalmente los depósitos de baja sulfuración están asociados a fallas o zonas de fractura estrechamente relacionadas a centros volcánicos. La mineralización metálica corresponde fundamentalmente a pirita, esfalerita, marcasita, galena, electrum, oro nativo, sulfosales de Ag,

arsenopirita, acantita, calcopirita, tetraedrita y teluros de Ag, mientras que la ganga está caracterizada por cuarzo y calcedonia con texturas primarias, de recristalización o reemplazo (Camprubí et al., 2003).

Un conocimiento acabado de la mineralización y alteración es fundamental para la extracción económica de la veta, ya que la mineralogía de mena y ganga afecta directamente en la recuperación de Au-Ag y puede generar costos adicionales en el procesamiento del mineral. Además, generar un esquema de la cronología de los diferentes eventos mineralizadores utilizando las texturas y relaciones de contacto es de gran utilidad en la exploración ya que no todas las estructuras se encuentran mineralizadas.

La explotación de la veta Julia en el distrito Amancaya está considerada dentro del plan de desarrollo minero del distrito Amancaya. A la fecha se ha realizado un modelo de bloques con leyes estimadas y un plan para su producción en una primera etapa. Sin embargo, su mineralogía ha sido descrita solo a escala macroscópica, por lo cual se hace indispensable realizar un estudio mineralógico de detalle, tanto de mena como de ganga, para contribuir a la evaluación geológica-económica de esta veta y al plan geometalúrgico reduciendo así el riesgo en la planificación minera. Además, una adecuada caracterización mineralógica es fundamental para la actualización del modelo geológico del distrito y por ende, de la generación de nuevos blancos de exploración.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Realizar una evaluación geológica de la veta Julia en el Distrito Amancaya.

1.3.2 Específicos

1. Caracterizar la mineralogía de mena, ganga y alteraciones hidrotermales de la veta Julia, con el propósito de definir la secuencia paragénética y las zonaciones minerales dentro del depósito.
2. Determinar el control mineralógico del oro y la plata.
3. Formular un modelo geológico para la veta Julia mediante la confección de plantas y perfiles de litología, alteración, mineralización y leyes.
4. Realizar una comparación entre veta Julia y veta Central, considerando su mineralogía y condiciones de emplazamiento.

1.4 Hipótesis

La mineralogía presente en la veta Central es indicativa de un yacimiento epitermal de baja sulfuración, por lo que el prospecto veta Julia correspondería al mismo tipo de yacimiento. Ambas vetas formarían parte de un mismo sistema hidrotermal donde destaca veta Central, que actualmente se encuentra en producción.

Veta Julia estaría afectada por procesos tectónicos y supérgenos, que no necesariamente son los mismos que afectan a veta Central, los cuales modifican la mineralogía de mena y de alteración presente, variando así también sus leyes.

1.5 Metodología

1.5.1 Trabajo en Terreno

Se realizó una campaña de terreno para efectuar el mapeo y muestreo correspondiente, principalmente en sondajes de la zona de estudio.

Esta campaña tuvo una duración de 4 días, donde se mapearon los interceptos de la veta en 9 sondajes, identificando eventos mineralizadores que poseen distinta mineralogía y/o texturas, realizando el muestreo representativo correspondiente. Se tomaron 8 muestras en 7 sondajes distintos, que se suman a otra muestra tomada por Paola López, doctorante de la Universidad de la Plata, la que fue facilitada luego de esta campaña.

1.5.2 Trabajo de Laboratorio

1.5.2.1 Caracterización macroscópica

Se describieron a escala macroscópica 9 muestras, identificando mineralogía, textura y relaciones de contacto, caracterizando tanto la mineralización como la alteración.

1.5.2.2 Microscopía óptica

Se confeccionaron 17 cortes doble pulidos de 100 μm de espesor en la empresa Tecterra ubicada en Bahía Blanca, Argentina, que se suman a 4 cortes transparente-pulidos de 30 μm de espesor y 3 cortes de 70 μm de espesor, para el estudio de inclusiones fluidas, realizados por Paola López en la Universidad de La Plata, Argentina.

Luego se realizó un estudio detallado de la petrografía de los cortes en el Laboratorio de Microscopía del Centro de Excelencia en Geotermia Andina (CEGA), mediante un microscopio óptico de polarización Olympus BX51.

1.5.2.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Posterior al estudio de microscopía óptica se seleccionaron 10 cortes para ser analizados en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, mediante un microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 250. Este microscopio posee un detector EDS (Energy Dispersive Spectrometer) que permite analizar el espectro de los rayos X que emite la muestra, pudiendo así identificar los elementos químicos presentes. También cuenta con un detector de electrones retrodispersados (BSE: backscattered electrons), que permite observar variaciones composicionales de las fases minerales, y un detector de electrones secundarios (SE: secondary electrons), para observar la topografía de las muestras.

1.5.3 Trabajo de Gabinete

Con los resultados obtenidos de litología, alteración y mineralización, junto a las leyes de los sondajes se realizaron plantas y perfiles para finalmente generar un modelo geológico de la veta mediante el software Leapfrog Geo de Seequent Limited.

Con toda la información obtenida se desarrolló una evaluación geológica-económica, desarrollando un modelo de bloques con leyes de oro y plata.

Capítulo 2

Marco Geológico

2.1 Geología Regional

2.1.1 Generalidades

La porción andina comprendida en la Región de Antofagasta, entre los 21° S y los 26° S, presenta 4 dominios morfoestructurales principales que se disponen en franjas con orientación N-S (Figura 3). Estos dominios son la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, la Precordillera, también llamada Cordillera de Domeyko, y la Cordillera Principal de Los Andes (SERNAGEOMIN, 2003).

El distrito Amancaya se ubica en el borde occidental de la depresión central, dominio que se caracteriza por un volcanismo calcoalcalino Paleoceno – Eoceno depositado en cuencas extensivas formadas en el Cretácico (Charrier et al., 2007). Además, pertenece a la franja metalogénica del Paleoceno – Eoceno Inferior, la cual se caracteriza, en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, por la presencia de pórfidos cupríferos como Cerro Colorado, Sierra Gorda o Spence, además de depósitos mesotermales y epitermales como El Inca, El Peñón, El Guanaco o Lomas Bayas, mientras que en la Región de Atacama se han reconocido mayormente brechas con matriz de turmalina en cuerpos intrusivos granodioríticos (Maksaev, 2001).

La Cordillera de la Costa se caracteriza principalmente por granitoides del Jurásico en su parte oriental y por secuencias volcánicas del Jurásico y Cretácico en su parte occidental (SERNAGEOMIN, 2003). El principal rasgo estructural que juega un rol en el emplazamiento de depósitos minerales en la Cordillera de la Costa es el Sistema Falla de Atacama (Arabasz, 1971; Charrier et al., 2007) de orientación N-S. Este sistema se compone de 4 segmentos bien definidos, pero entre Taltal y Paposo la expresión del sistema no es clara y corresponde a la zona intermedia entre el segmento de Paposo y el segmento de El Soldado – Vallenar. En ésta zona intermedia, la dirección y extensión de las fallas que forman parte del sistema no es del todo clara, pero comúnmente poseen orientación N-S.

Las unidades geológicas reconocidas en el área de estudio (Figura 4) han sido descritas en la carta geológica Altamira (Matthews et al., 2010) y en menor medida en la carta Catalina (Espinoza et al., 2011). A continuación se presenta una breve descripción de éstas unidades.

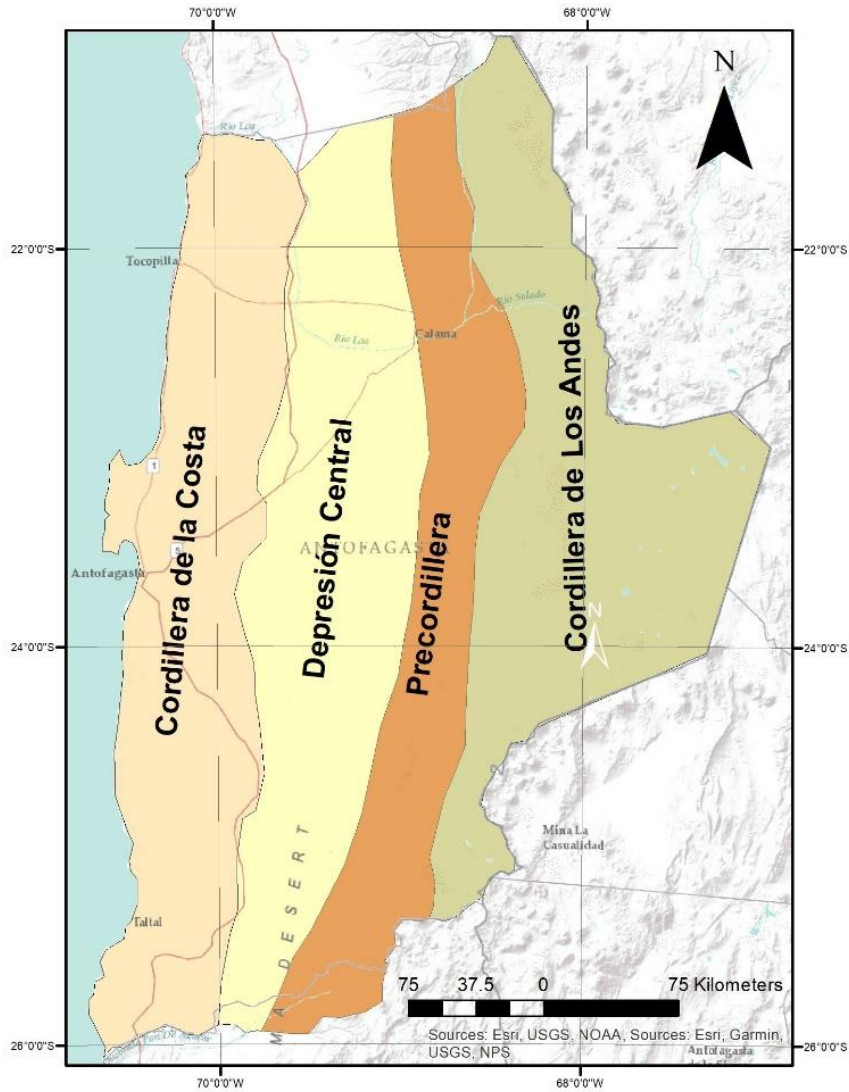


Figura 3: Morfoestructuras en la región de Antofagasta. Modificado de SERNAGEOMIN (2003).

2.1.2 Unidades Estratificadas

2.1.2.1 Formación Las Tórtolas (DCl_t)

(Devónico – Carbonífero Inferior)

Tiene base desconocida y subyace mediante discordancia angular y de erosión a la Formación La Negra, aunque en ocasiones subyace a secuencias volcánicas del Paleógeno. Está intruída por cuerpos hipabisales del Triásico Superior, Jurásico Inferior y Cretácico Inferior.

Con respecto a su litología, corresponde a una secuencia de areniscas y lutitas interestratificadas, intensamente deformadas y afectadas por metamorfismo de bajo grado, con escasas intercalaciones de calizas, cherts y volcanitas básicas.

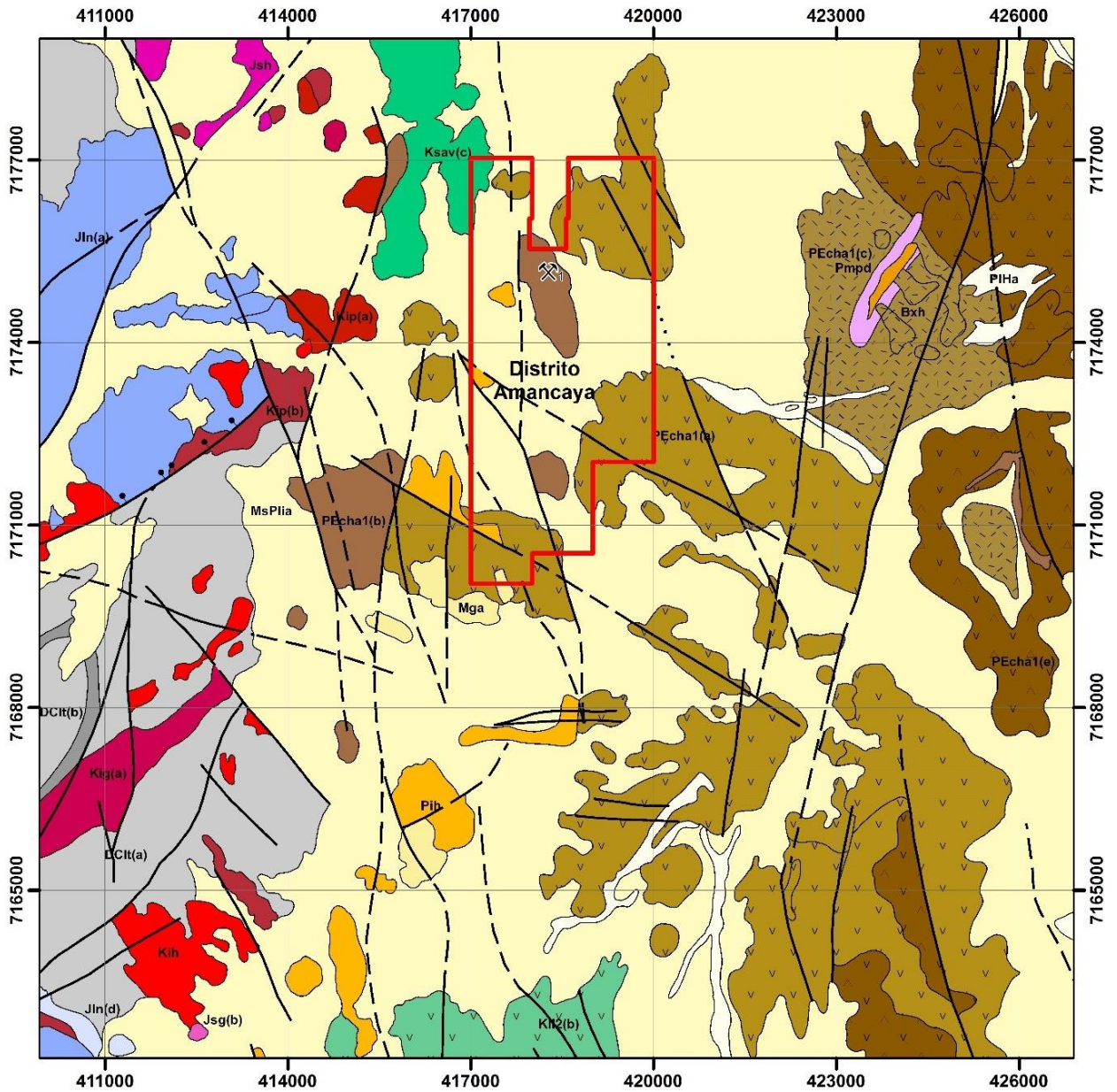
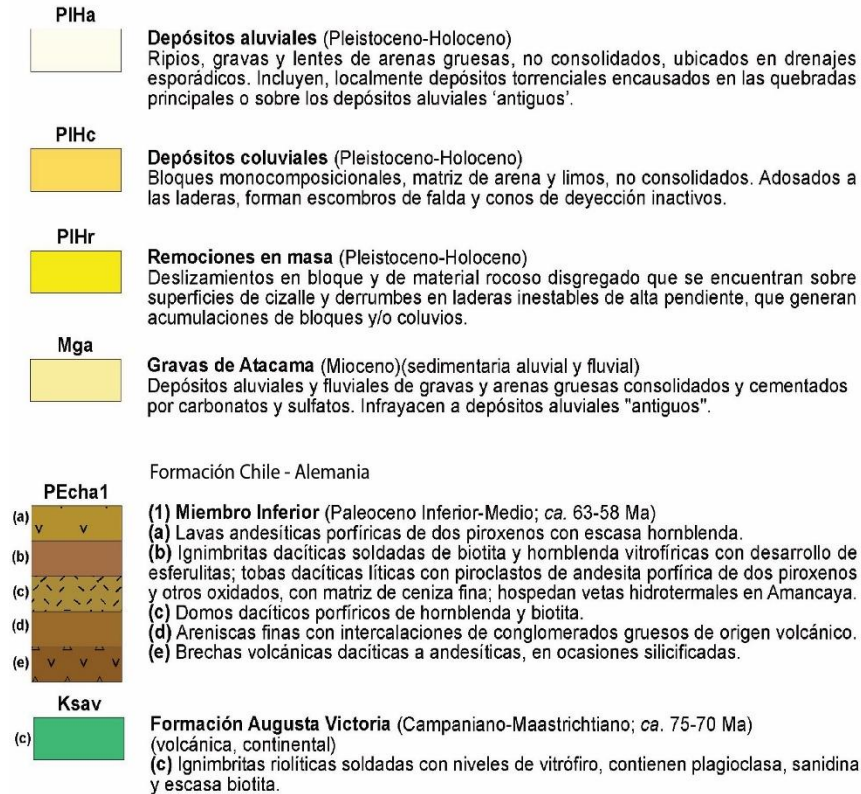
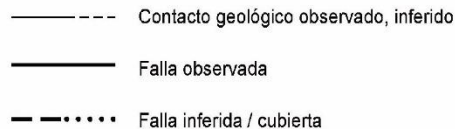


Figura 4: Geología del área de estudio con la ubicación del distrito Amancaya. Modificado de Matthews et al. (2010).

Unidades Estratificadas



Simbología



Unidades Intrusivas

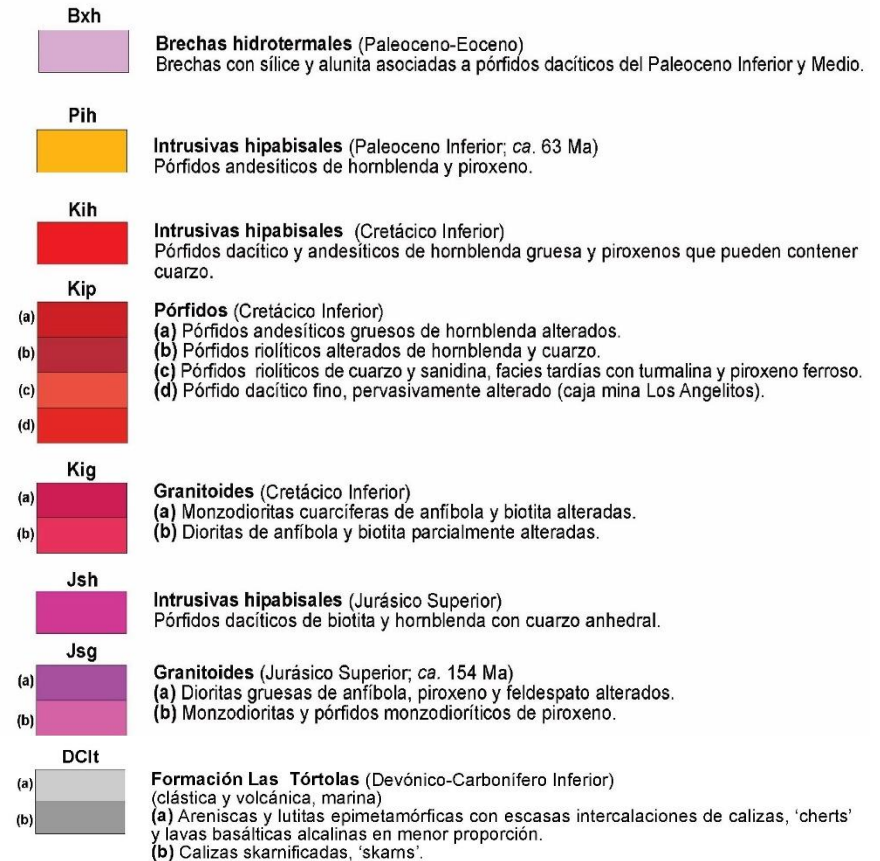


Figura 5: Leyenda de la geología del área de estudio (Figura 4). Modificado de Matthews et al. (2010)

2.1.2.2 Formación La Negra (Jln)

(Jurásico Medio – Jurásico Superior)

Se emplaza en el borde occidental de la Depresión Central y sobreyace en discordancia angular y de erosión al basamento Paleozoico, representado por la formación Las Tórtolas.

Corresponde a una secuencia volcánica marina formada por lavas basálticas a andesíticas y brechas volcánicas, con intercalaciones de areniscas, calizas y conglomerados. Su nivel basal se compone por un conglomerado clasto-soportado, bioclástico y calcilitas. Por sobre este nivel de conglomerado se disponen brechas sedimentarias y areniscas cuarzo-feldespáticas, además de calizas.

Sobre lo anterior se tienen depósitos de mayor espesor, primeramente brechas volcanoclásticas rojizas de fragmentos angulosos a subredondeados de tamaños centimétricos y decimétricos soportados en una matriz oscura tamaño arena, y luego lavas basálticas y andesíticas de colores negruzcos.

2.1.2.3 Complejo riolítico de Quebrada Florida

(Cretácico Inferior)

Esta unidad abarca un domo formado por un pórfido riolítico alterado donde la masa fundamental está reemplazada por cuarzo y epidota, junto a una toba riolítica con cuarzo y plagioclasa alterada en una matriz de ceniza recristalizada por cuarzo y feldespato.

El domo riolítico intruye a la Formación La Negra y el basamento metamórfico, tiene una extensión mayor a 10 km² y se encuentra entre las quebradas de La Peineta y Florida.

La toba riolítica está depositada en discordancia angular sobre la Formación La Negra.

2.1.2.4 Formación Llanta

(Campaniano – Maastrichtiano)

Secuencia sedimentaria principalmente continental separada en 2 miembros. El miembro inferior está compuesto por lavas andesíticas porfíricas y traquíticas con fenocristales de olivino y piroxeno en su base. Sobre las unidades volcánicas hay un horizonte de calizas, y hacia el techo areniscas y limonitas estratificadas con intercalaciones de conglomerados y brechas.

El miembro superior se compone por lavas andesíticas porfíricas y basaltos de olivino en su base, y brechas volcánicas andesíticas gris verdosas junto a ignimbritas vítreas rojizas en su techo.

2.1.2.5 Formación Augusta Victoria

(Campaniano – Maastrichtiano)

Secuencia volcánica que sobreyace a la Formación Las Tórtolas en discordancia angular y de erosión, y es cubierta en discordancia erosiva por el miembro inferior de la Formación Chile-Alemania.

Se compone de tobas soldadas riolíticas de sanidina y biotita en su base, con niveles de brechas andesíticas monomíticas, y lavas afaníticas andesíticas a basálticas oscuras en su techo.

2.1.2.6 Formación Chile-Alemania

(Paleoceno Inferior – Eoceno Inferior)

Secuencia volcánica formada por 3 eventos magmático-volcánicos discretos que se clasifican como miembros, cada uno cuenta con distintas facies volcánicas y alteración hidrotermal.

1. **Miembro Inferior:** Secuencia volcánica de composición intermedia. En su base presenta brechas volcánicas dacíticas a andesíticas, encima areniscas finas con intercalaciones de conglomerados gruesos con clastos de origen volcánico y domos dacíticos porfíricos de hornblenda y biotita. Hacia el techo tobas dacíticas soldadas con esferulitas, y en su techo presenta lavas andesíticas porfíricas.
2. **Miembro Medio:** Se compone, de base a techo, por domos dacíticos, domos riolíticos, lavas andesíticas a dacíticas y tobas dacíticas a riolíticas soldadas.
3. **Miembro Superior:** Está compuesta, de base a techo, por tobas dacíticas de hornblenda y biotita, domos riolíticos porfíricos de hornblenda y biotita, domos dacíticos de biotita, lavas andesíticas de hornblenda con intercalaciones de basaltos, y basaltos de olivino.

2.1.3 Unidades Intrusivas

2.1.3.1 Complejo Plutónico Flor de Chile

(Jurásico Inferior)

Conjunto de plutones mayormente máficos que intruyen a la Formación Las Tórtolas y son cubiertos, en discordancia de erosión, por ignimbritas de la Formación Augusta Victoria.

Lo conforman un grupo de tonalitas de biotita y anfíbola que poseen zonas pegmatíticas, dioritas de anfíbola, y dioritas de biotita y piroxeno parcialmente alteradas a arcillas y sericita.

2.1.3.2 Granitoides y Pórfidos Jurásicos

(Jurásico Superior)

Corresponde a una serie de cuerpos plutónicos que intruyen a la Formación La Negra y a la Formación Las Tórtolas.

Su composición es daci-andesítica, diorítica y monzodiorítica. Cabe destacar que algunos, de composición diorítica, corresponden a cuerpos hipabisales que aparecen intruyendo a la Formación Las Tórtolas.

2.1.3.3 Grupo Plutónico Cerro del Pingo

(Cretácico Inferior)

Batolito (Ulriksen, 1979) que aflora en la Cordillera de la Costa con gran variedad composicional, desde gabros a tonalitas o granitos. Mayormente lo componen monzodioritas, monzodioritas cuarcíferas, monzonitas de piroxeno, microgranitos de biotita y anfíbola, gabros de piroxeno y dioritas, que intruyen a la Formación Las Tórtolas y a la Formación La Negra.

2.1.3.4 Pórfidos Cretácicos (Cretácico Inferior)

Serie de cuerpos de menor tamaño que intruyen a la Formación Las Tórtolas y a la Formación La Negra.

Corresponden a pórfidos andesíticos de hornblenda de grano grueso, pórfidos riolíticos de hornblenda y cuarzo, pórfidos riolíticos de cuarzo-sanidina de grano fino y un pórfido dacítico muy alterado.

2.1.3.5 Brechas Hidrotermales (Paleoceno – Eoceno)

Brechas volcanoclásticas asociadas a pórfidos y domos dacíticos, formadas por clastos muy silicificados en matrices de hematita-arcilla-sílice. Se asocian con vetillas de cuarzo-alunita y cuerpos de sílice bandeada con hematita y limonitas.

2.1.4 Unidades No Consolidadas

2.1.4.1 Gravas de Atacama (Oligoceno – Mioceno)

Depósitos de gravas no consolidadas que sobreyacen, en discordancia angular, a las unidades previas. Se presenta en ocasiones como paquetes con espesores muy variables, alcanzando hasta los 50 metros, y mayormente como remanentes aislados de superficies erosionadas.

Corresponden a gravas polimícticas, mal seleccionadas, con clastos angulosos a subredondeados, tamaños entre 5 y 20 centímetros que en algunas zonas aparecen imbricados, con una matriz tamaño arena gruesa. El origen de sus componentes es de un amplio espectro, incluyendo granitoides paleozoicos, calizas jurásicas y rocas volcánicas paleógenas.

2.2 Geología Distrital

La geología distrital que se expone a continuación se basa principalmente en el trabajo de Páez et al. (2016), además de mapeos realizados por la empresa, los cuales fueron verificados por el autor del presente trabajo (Figura 6).

2.2.1 Litología

En el distrito minero Amancaya se reconocen mayormente rocas ígneas del Cretácico y secuencias volcánicas del Paleoceno correspondientes a la Formación Chile-Alemania (Chong, 1973). El distrito se ubica al este de un sistema de fallas, de orientación N-S, llamado “La Peineta”.

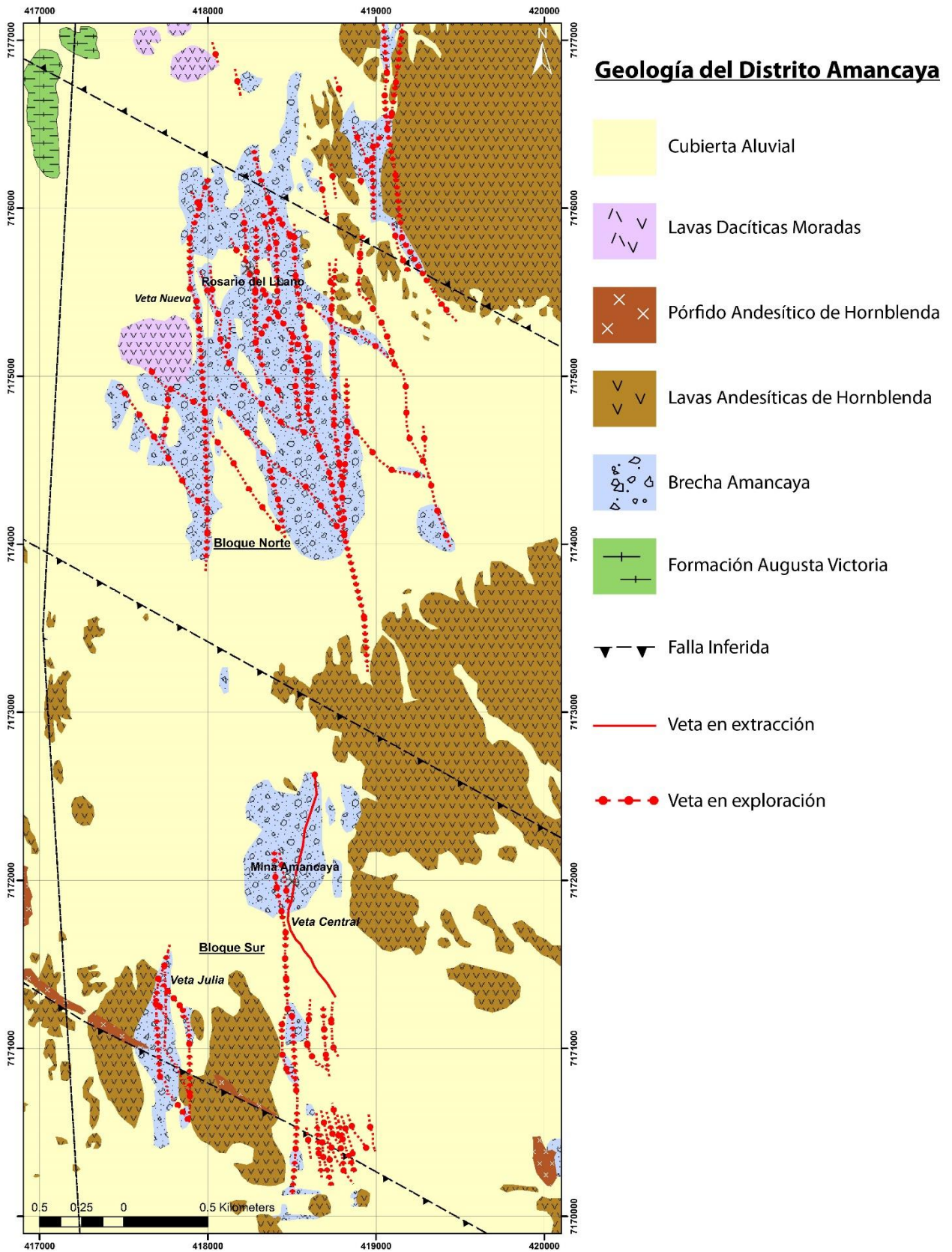


Figura 6: Geología del distrito minero Amancaya. Modificado de Páez et al. (2016).

2.2.1.1 Formación Augusta Victoria (Cretácico Superior)

Aflora al noroeste del distrito y se emplaza sobre la Formación La Negra mediante contacto erosivo. Además subyace a la Formación Chile-Alemania en contacto también erosivo.

La litología asociada a esta formación en el distrito es de ignimbritas con baja proporción de fragmentos líticos y abundantes fenocristales de cuarzo, acompañados por sanidina, plagioclasa, anfíbol y biotita. Además presenta una matriz desvitrificada con fiammes que suelen estar argilizados.

2.2.1.2 Brecha Amancaya (Paleoceno Inferior)

Es la principal roca caja de las estructuras mineralizadas del distrito. Se asocia al miembro inferior de la Formación Chile-Alemania, mencionado anteriormente.

Corresponde a un paquete de brechas piroclásticas mal seleccionadas, matriz soportadas, con clastos polimícticos subangulosos a subredondeados de tamaños milimétricos hasta más de un metro de diámetro. La potencia de este paquete supera los 200 metros, según lo observado en sondajes, y en algunos sectores se observan clastos de la Formación Augusta Victoria.

En algunos niveles se presentan depósitos con estructuras sedimentarias acompañadas de lapilli acrecional, que se asocian a oleadas piroclásticas. Estos niveles son de color morado y su potencia puede variar de algunos centímetros a varios metros.

2.2.1.3 Lavas Andesíticas de Hornblenda (Paleoceno Inferior)

Sucesión de lavas porfíricas de composición andesítica con abundantes fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una masa fundamental gris violácea.

Se presenta sobre la Brecha Amancaya en contacto concordante. Estas lavas no presentan alteración hidrotermal por lo que se depositaron posteriormente al evento de mineralización hidrotermal que generó las vetas de la Mina Rosario del Llano y del sector de la veta Julia.

2.2.1.4 Pórfido Andesítico de Hornblenda (Paleoceno Inferior)

Corresponde a una serie de cuerpos intrusivos y diques que intruyen a las Lavas Andesíticas de Hornblenda. Los diques tienen una orientación N60°O a N30°O, y se presentan en conexión con los cuerpos intrusivos. Su composición es principalmente microdiorítica con abundante plagioclasa y hornblenda; mineralogía bastante similar a las de las Lavas Andesíticas de Hornblenda.

2.2.1.5 Lavas Dacíticas Moradas (Paleoceno)

Es la unidad más joven del Paleoceno y se encuentra en discordancia en relación a las unidades anteriores.

Corresponde a una serie de domos y coladas alineadas con orientación N-S a lo largo de la traza del Sistema de Fallas La Peineta. Estos domos y coladas presentan una composición andesítica a dacítica con textura afanítica a porfírica con escasos fenocristales de plagioclasa.

Hacia la base aparecen ignimbritas pumíceas con muy poco desarrollo lateral que pueden corresponder al evento explosivo que inició el desarrollo de éstas lavas.

2.2.1.6 Unidades Post-Paleocenas

(Mioceno – Holoceno)

Sobre todas las unidades mencionadas se dispone una cubierta aluvial compuesta por depósitos de grava, matriz soportados, mal seleccionados y no consolidados. Entre estos depósitos se encuentran las Gravas de Atacama, mencionadas anteriormente, junto a depósitos aluviales más jóvenes.

2.2.2 Estructuras

Como ya se mencionó, el principal rasgo estructural de la zona es el Sistema de Fallas La Peineta (SFLP), un sistema de fallas con orientación N-S que se encuentra al oeste del distrito y que pone en contacto la secuencia volcánica del Cretácico – Paleoceno al este con el basamento Paleozoico – Mesozoico al oeste.

El distrito se encuentra al este del SFLP, y en la zona predominan las estructuras de orientación N-S, que controlan el emplazamiento de los domos pertenecientes a las lavas moradas, y las de orientación NW-SE, que controlan el emplazamiento de una serie de diques presentes en la zona.

2.2.3 Mineralización

Al este del SFLP se emplaza un sistema de vetas epitermales de baja sulfuración con oro y plata. Estas estructuras se distribuyen a lo largo de un corredor N-S de unos 2 km de ancho y 8 km de largo. Se alojan en su mayoría en el miembro inferior de la Formación Chile-Alemania y se separan en 2 bloques.

2.2.3.1 Bloque Sur

En este bloque se emplazan 3 vetas importantes:

1. Veta Central: Ubicada en el centro-sur del distrito. Se han definido 421.000 onzas de Au equivalente y actualmente se encuentra en explotación. Tiene un ancho aproximado de 1,5 metros y una inclinación de 60° a 70° al este.
2. Veta Julia: Ubicada en el extremo suroeste del distrito. Se extiende de forma irregular a lo largo de 1 km con orientación N-S. Se han reportado leyes de hasta 20 g/t de Au con un valor promedio de 4 g/t.
3. Veta Griega: Es la continuación hacia el sur de la veta Central. Se ha reconocido como 3 ramas subparalelas de 10 cm cada una con leyes de hasta 13 g/t de Au.

2.2.3.2 Bloque Norte

En este bloque se emplazan 5 vetas importantes:

1. Veta Janita: Ubicada al norte del distrito. Se emplaza a lo largo de 2 km con anchos de hasta 2 m, con orientación NNO-SSE y leyes de hasta 6 g/t de Au.
2. Veta Nueva: Ubicada al noroeste del distrito. Presenta un rumbo N-S y una corrida de hasta 2,5 km. Se encuentra muy poco perforada pero se han encontrado valores de hasta 1,8 g/t de Au. Posiblemente corresponde a una continuación de la veta Julia.
3. Veta Rosa: Ubicada al noreste del distrito. Tiene una orientación NNO-SSE y un largo cercano a los 2 km. En superficie se encuentran leyes de hasta 5 g/t de Au pero no se han obtenido resultados positivos en perforaciones.
4. Veta Laureana: Ubicada al noreste de veta Rosa. Tiene 2,2 km de largo y una dirección N10°E con un quiebre en dirección N30°O. No se han obtenido anomalías en superficie y a la fecha no hay datos de sondajes.
5. Veta Rosario del Llano: Ubicada al oeste de veta Janita. Se reconocen 2 labores antiguas que fueron explotadas por Au-Cu en la mina "Rosario del Llano". Corresponde a 2 estructuras, una de rumbo N10°E y otra de rumbo N30°O, ambas con anchos de 1 a 2 metros. Se han registrado leyes de hasta 1,6 g/t de Au, aunque en perforaciones no se han obtenido buenos resultados.

Capítulo 3

Geología de la veta Julia

3.1 Generalidades

La veta Julia se encuentra muy poco expuesta en superficie, por lo que se ha explorado mayormente mediante métodos geofísicos (magnetometría, VLF). Además se han tomado muestras de superficie para análisis geoquímico y se han realizado sondajes, en su mayoría de aire reverso. Una última campaña realizada en 2016 por Austral Gold Limited perforó 21 sondajes que interceptaron a la veta Julia.

3.2 Litología

La veta se emplaza en rocas volcánicas de la Formación Chile-Alemania. La roca caja, en toda la zona estudiada, corresponde a una brecha piroclástica, mal seleccionada, matriz soportada, con clastos polimícticos que son subangulosos a subredondeados denominada Brecha Amancaya (Figura 7).

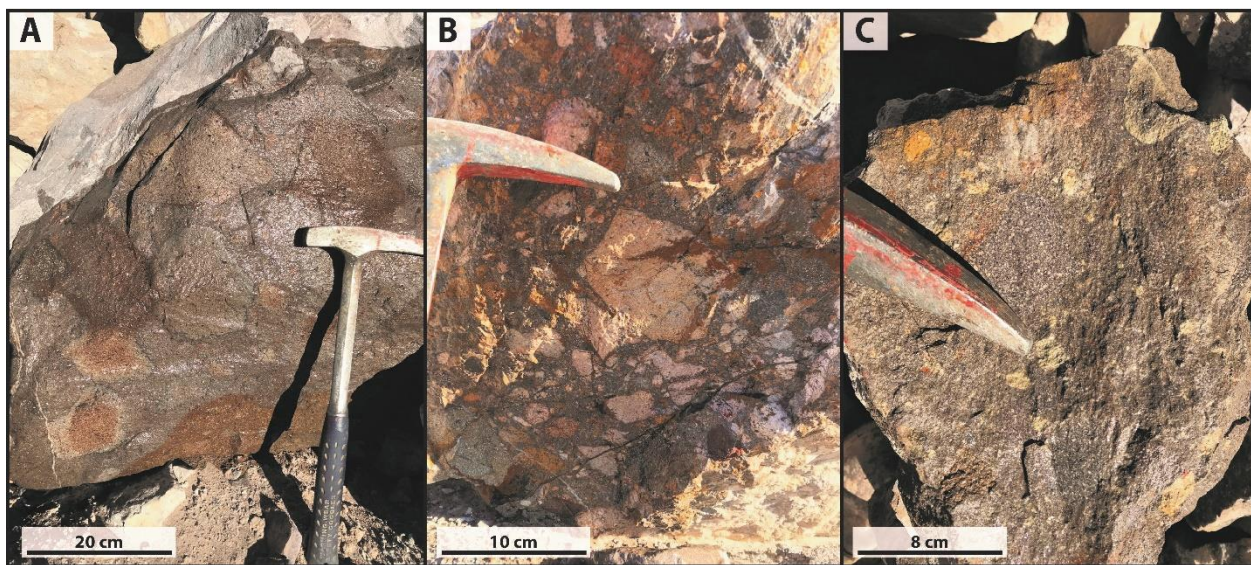


Figura 7: Muestras de superficie correspondiente a la Brecha Amancaya. En A) y B) se observa que los clastos pueden alcanzar tamaños decimétricos. En C) se observan clastos de menor tamaño de hasta un par de milímetros.

Se compone principalmente por clastos de lavas andesíticas y dacíticas que varían en tamaño desde algunos milímetros hasta un metro. Algunos clastos corresponderían a litologías pertenecientes a la Formación Augusta Victoria. Los cristales presentes en la roca corresponden a plagioclasas, anfíboles y cuarzo, inmersos en una matriz fina, gris verdosa con textura piroclástica y alterada a arcillas.

El paquete de brechas tiene un espesor de al menos 200 metros en la zona de la veta Julia, observado en sondajes de diamantina, pero sondajes de aire reverso realizados en campañas anteriores sugieren que el paquete supera los 300 metros de espesor.

Este paquete de brechas piroclásticas en la zona de veta central fue datada en $63,4 \pm 1,1$ Ma, mediante el método de U-Pb en circones (Matthews et al., 2010), lo que acota esta unidad al Paleoceno Inferior.

En la veta se observan principalmente 2 tipos de texturas: la primera es una textura crustiforme de cuarzo-adularia con bandas incoloras y de color blanco, verde y rosado, con abundantes cavidades rellenas de arcillas y limonitas (Figura 8). La segunda corresponde a una textura brechosa con cuarzo-adularia y clastos subangulosos de la veta crustiforme (Figura 9).

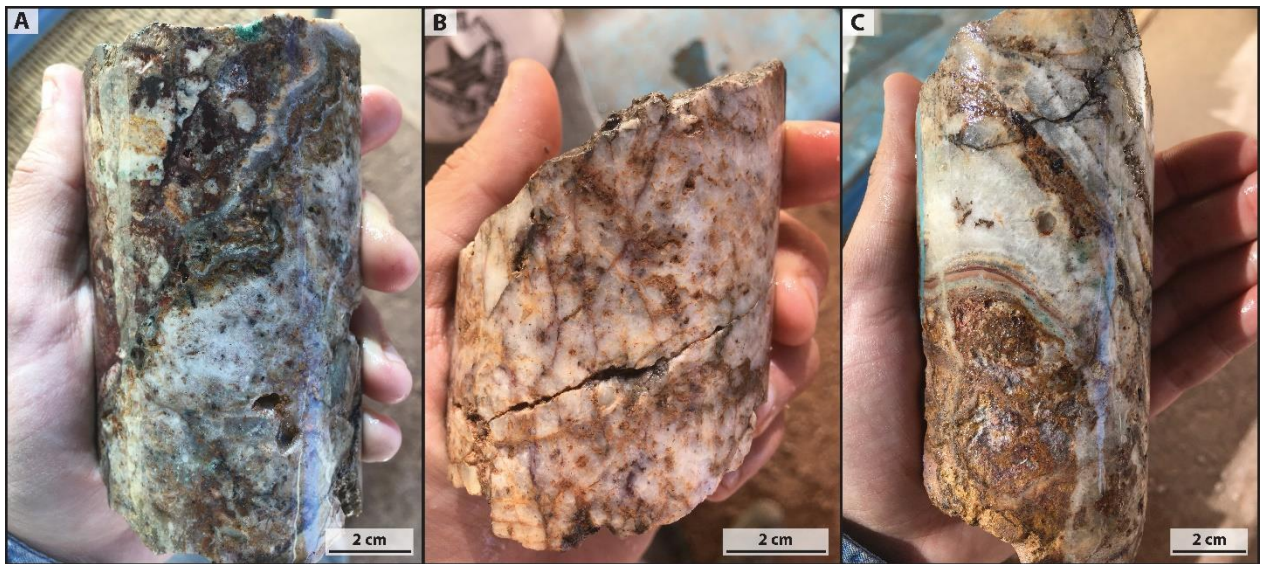


Figura 8: Muestras de sondajes correspondientes a veta con poca brechización. En A) se observa la textura crustiforme con bandas que presentan texturas coloforme y “comb”. En B) se distingue parte de una veta de cuarzo masiva con abundantes oquedades rellenas por limonitas. En C) se aprecia una veta de cuarzo con textura “comb” y cuarzo microcristalino de colores verde y rosado.

El contacto entre las dos texturas (coloforme y brechosa) presentes en la veta es transicional, con distintos niveles de brechización en las distintas zonas de la veta, tanto a lo ancho como a lo largo, encontrando zonas donde la totalidad de la veta corresponde a una brecha hidrotermal y otras zonas donde la veta se encuentra más conservada, con brechización menor.

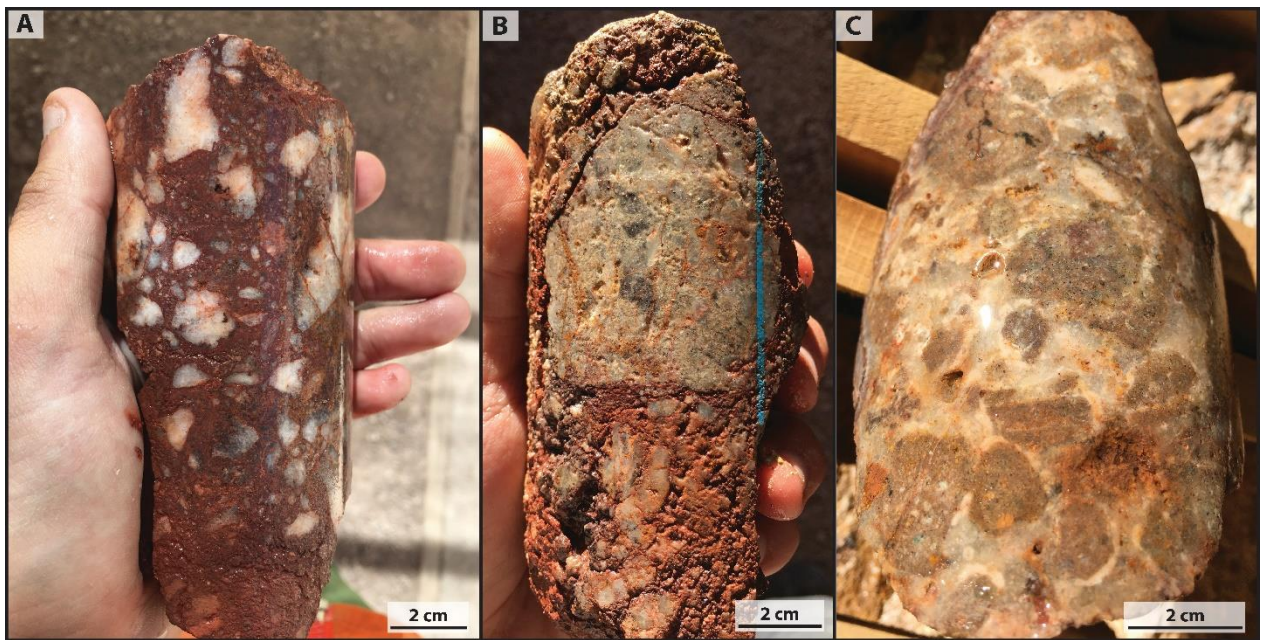


Figura 9: Muestras de sondaje correspondiente a brecha hidrotermal de cuarzo. En A) se tiene una brecha matriz-soportada con clastos de cuarzo de la veta previa. En B) también una brecha matriz soportada con clastos de mayor tamaño, que preservan texturas de la veta. En C) se observa una brecha con textura “cockade”, con clastos de cuarzo microcristalino y cemento de cuarzo con textura “comb”.

3.3 Alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal es zonada en relación a la veta. En los borde de la veta se aprecia una fuerte silicificación de la roca caja seguido de una zona con abundantes arcillas y cantidades menores de sericita (alteración argílica intermedia). Luego se tiene una zona de transición con arcillas y clorita y finalmente, en una posición más externa a la veta, una cloritización con menor epidota y calcita (alteración propilítica), siendo la calcita más abundante en superficie (Figura 10).

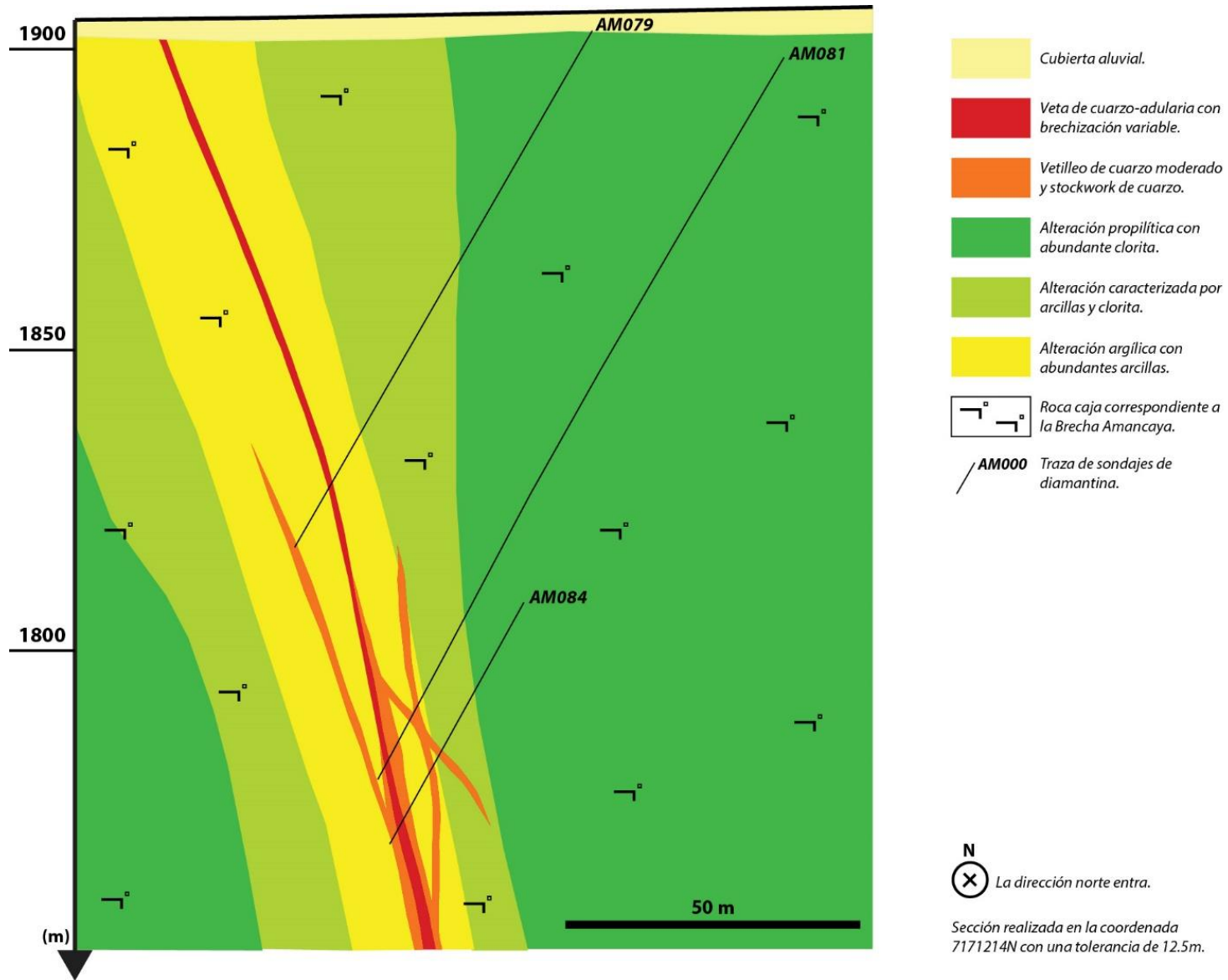


Figura 10: Sección transversal a la veta, realizada en la coordenada 7171214N.

3.4 Mineralogía

3.4.1 Mineralogía de ganga

3.4.1.1 Cuarzo

La ganga está representada mayormente por cuarzo con texturas crustiforme, “*jigsaw*”, “*comb*” y plumosa (Sander y Black, 1988; Dong et al., 1995). La textura crustiforme (Figura 11) se caracteriza por bandas bien definidas, sinuosas y que se distinguen principalmente por sus diferencias granulométricas. Las bandas que tienen una granulometría menor suelen tener textura “*jigsaw*”, mientras que las bandas con granulometría mayor normalmente tienen textura “*comb*”.

La textura “*jigsaw*” (Figura 12) consiste en un agregado de cristales de cuarzo microcristalino con bordes irregulares e interpenetrativos de hasta 80 μm , que se observan como una masa prácticamente homogénea a nicoles paralelos, pero en nicoles cruzados se observan las diferencias en la extinción de los distintos granos. La textura “*comb*” (Figura 13) se caracteriza por un agregado de cristales, de hasta 700 μm , que comúnmente se distribuyen como vetillas o bandas que tienen cristales bien definidos, alargados en dirección perpendicular a los bordes de vetillas, y se asocian a oquedades.

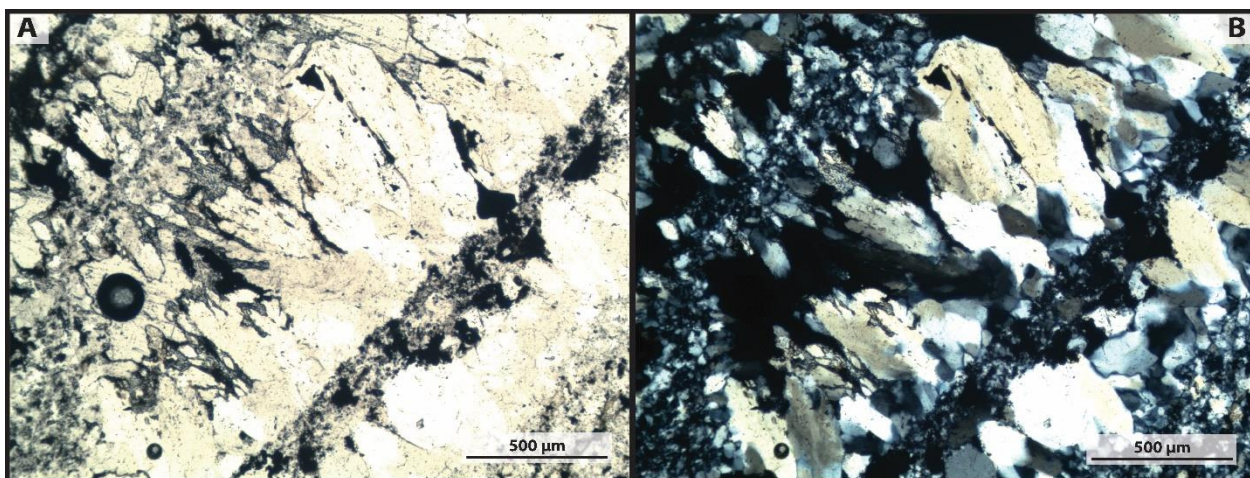


Figura 11: Bandas de la textura crustiforme en sondaje AM068 (155,6 m). Se pueden ver bandas con diferencias granulométricas, mediante luz transmitida en A) nicoles paralelos y B) nicoles cruzados.

La textura plumosa (Figura 14) también se asocia a cristales de mayor tamaño, incluso hasta 2 mm, y se encuentra en los bordes de estos cristales. Se caracteriza por un aspecto plumoso en la extinción con forma acicular radial en torno a un cristal previo, que se asemeja a la textura flamboyante (Dong et al., 1995), pero que se engloba en la textura plumosa de Sander y Black (1988).

La composición del cuarzo en los puntos vistos en el microscopio electrónico de barrido varía entre los 44% y los 46% en peso de Si, junto a oxígeno que varía entre los 54% y los 56% en peso. Si se aplica una corrección del oxígeno por estequiometría se obtienen valores de 47% en peso de Si y 53% en peso de O.

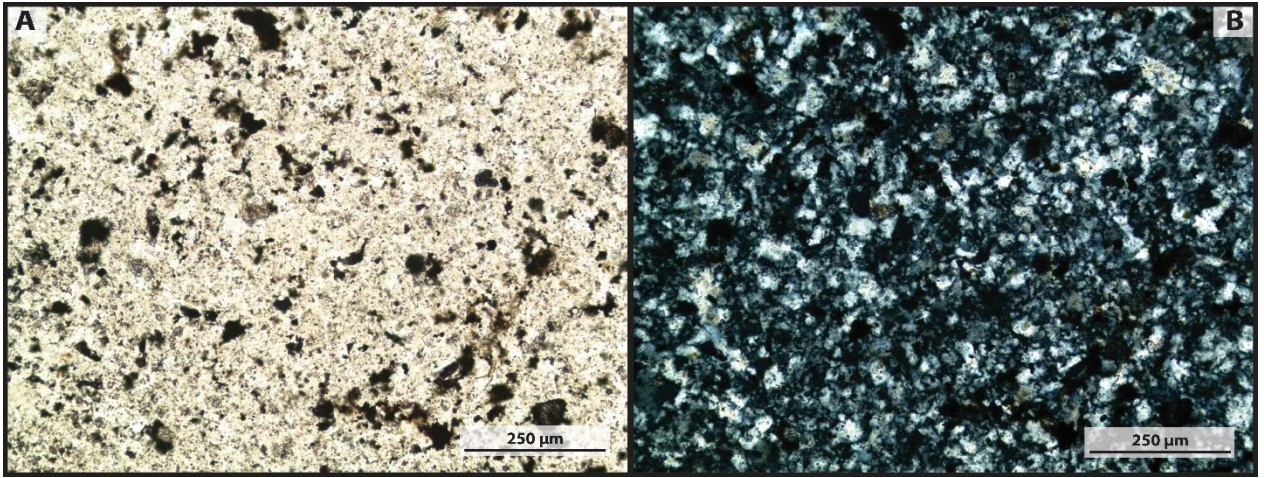


Figura 12: Textura “jigsaw” presente en sondaje AM068 (155,6 m), observada mediante luz transmitida en A) nicols paralelos y B) nicols cruzados.

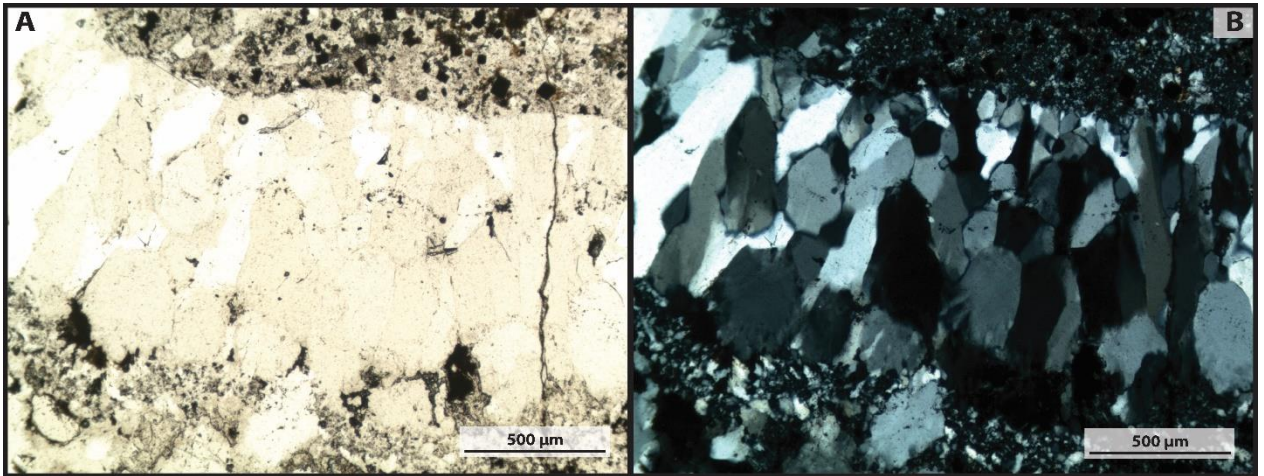


Figura 13: Banda con textura “comb” presente en sondaje AM068 (155,6 m), observada mediante luz transmitida en A) nicols paralelos y B) nicols cruzados.

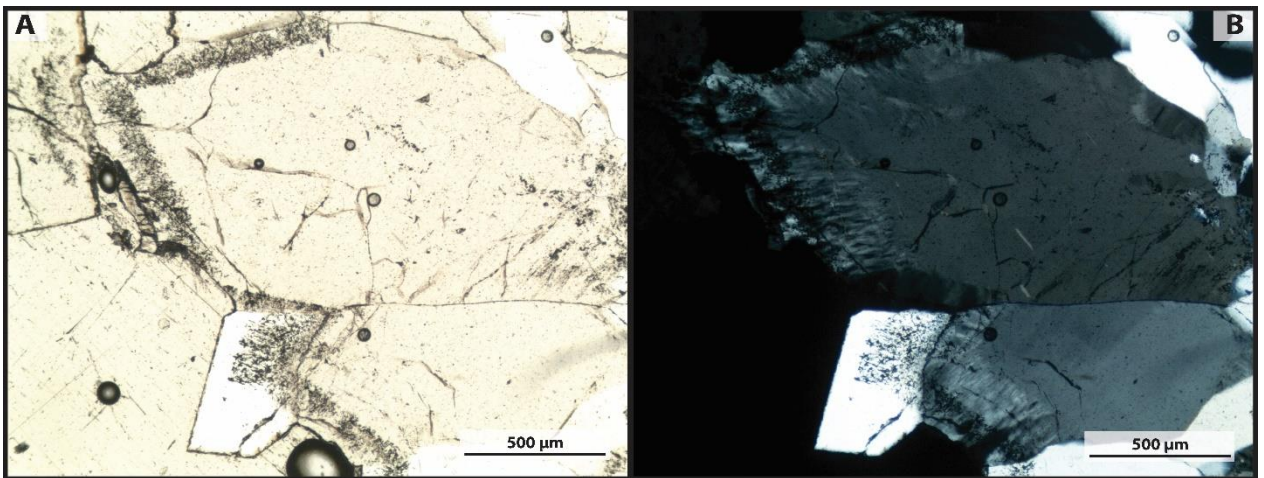


Figura 14: Textura plumosa en cristales de mayor tamaño en sondaje AM068 (155,6 m), observada mediante luz transmitida en A) nicols paralelos y b) nicols cruzados.

3.4.1.2 Adularia

Una parte importante de la ganga corresponde a adularia, un feldespato potásico morfológicamente distintivo que suele ser típico de ambientes hidrotermales de baja temperatura (Dong y Morrison, 1995). No se logra distinguir en muestra de mano ni usando el microscopio óptico. Su identificación se realizó utilizando el microscopio electrónico de barrido (Figura 15).

La composición química de la adularia determinada mediante SEM-EDS es 14% de K, 10% Al, 46% O y 30% en peso de Si. Se observa masiva y, en muchos casos, meteorizada dejando oquedades que son rellenadas por carbonatos, arseniatos o vanadatos.

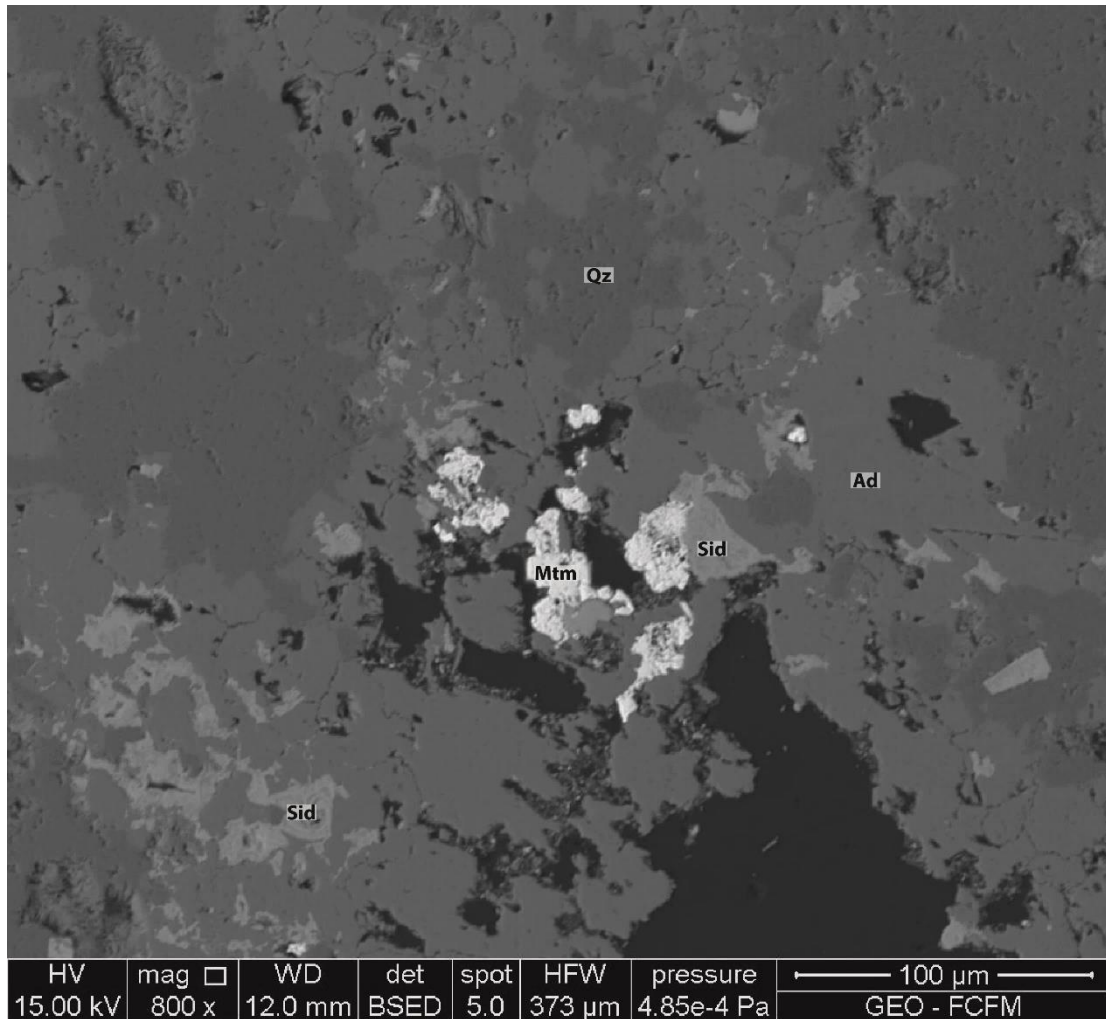


Figura 15: Imagen de electrones retrodispersados (BSE), de sondaje AM068 (155.6 m). Ad: Adularia, Sid: Siderita, Mtm: Motramita, Qz: Cuarzo.

3.4.1.3 Carbonatos

Parte importante de la ganga en las zonas más someras y enriquecidas de la veta son los carbonatos, posiblemente cerusita (PbCO_3 ; Figura 16), siderita (PbCO_3) o ankerita ($\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$). Los análisis de SEM-EDS indican una composición de 78% Pb, 4% C y 18.0% O en algunas zonas.

El valor de carbono no se registra debido a que el metalizado de las muestras se realiza con carbono, pero se realizó una corrección para estimar el valor de carbono de acuerdo a los elementos presentes y las propiedades ópticas del mineral analizado.

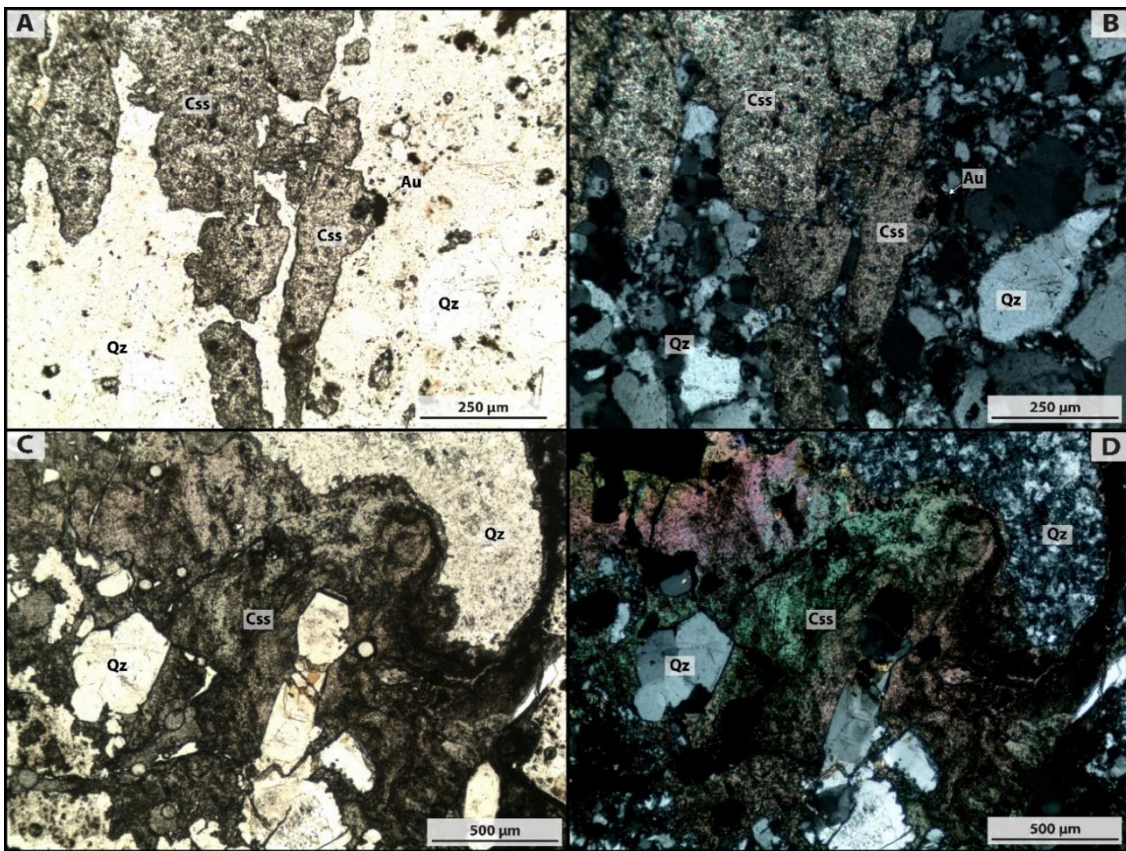


Figura 16: Carbonatos presentes en sondaje AM092 (69,2 m). Cerusita (Css) en cuarzo (Qz) observado mediante luz transmitida en A) nicoles paralelos, B) nicoles cruzados, C) nicoles paralelos y D) nicoles cruzados.

3.4.1.4 Limonitas

Una parte importante de las muestras presenta abundantes limonitas (goethita y jarosita; Figura 17). Localmente se observan sulfuros y relictos de pirita en contacto con limonitas (Figura 16), lo cual sugiere que estas últimas son producto de la oxidación de sulfuros primarios como la pirita.

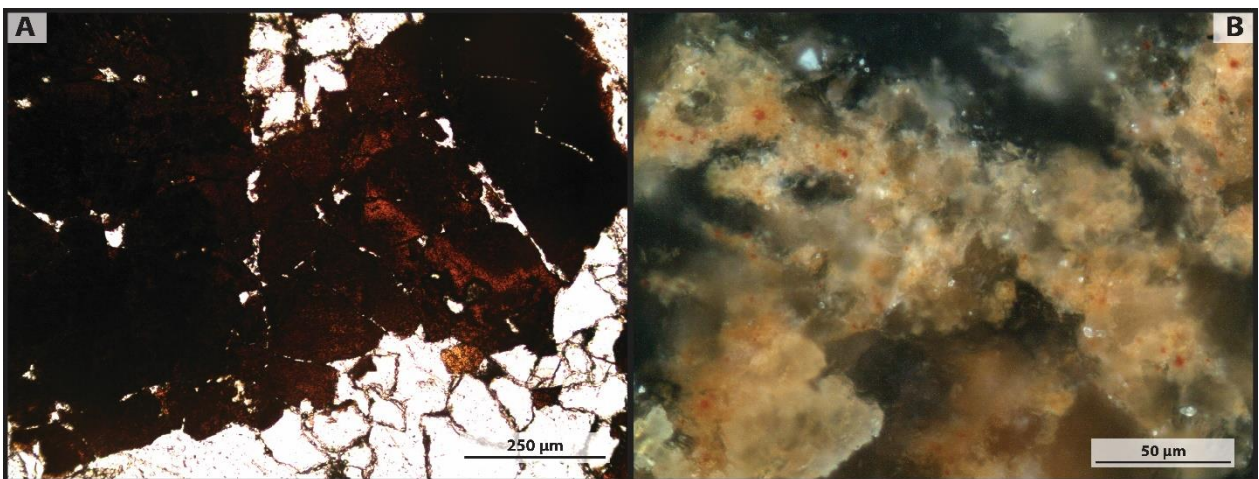


Figura 17: Limonitas presentes en sondaje AM084 (155,2 m). A) Goethita mediante luz transmitida en nicoles paralelos y B) Jarosita mediante luz reflejada en nicoles cruzados.

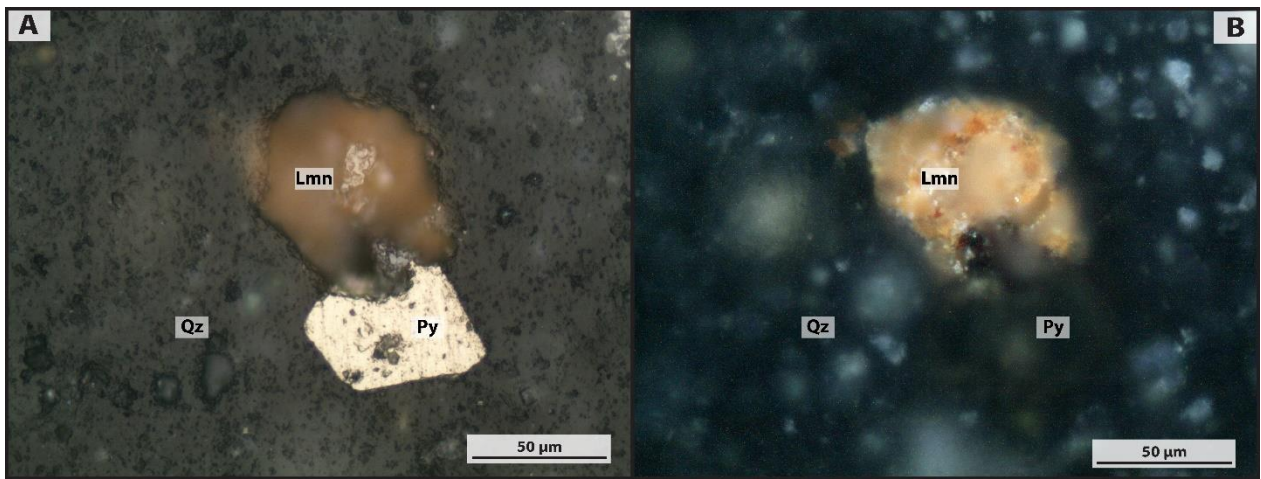


Figura 18: Pirita (Py) oxidada con limonita (Lmn), en cuarzo (Qz). Observado mediante luz reflejada en A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados.

3.4.2 Mineralogía metálica

3.4.2.1 Sulfuros de Cu

El principal sulfuro de cobre presente es la calcopirita (Figura 19), la cual se encuentra comúnmente intercrecida con calcosina y reemplazado en los bordes por digenita. Estos sulfuros se encuentran hospedados en cuarzo y no se encontraron asociados a adularia.

Además, algunos cristales presentan reemplazo por goethita formando entrecrecimientos vermiculares en los bordes. Pero la goethita no solo se restringe a los bordes, sino que aparece también como islas del mineral reemplazante, similar a una secuencia deposicional en la cual los minerales que cristalizan son progresivamente más ricos en un constituyente u ocurre un reemplazo parcial de un mineral por otro (Maksaev, 2001).

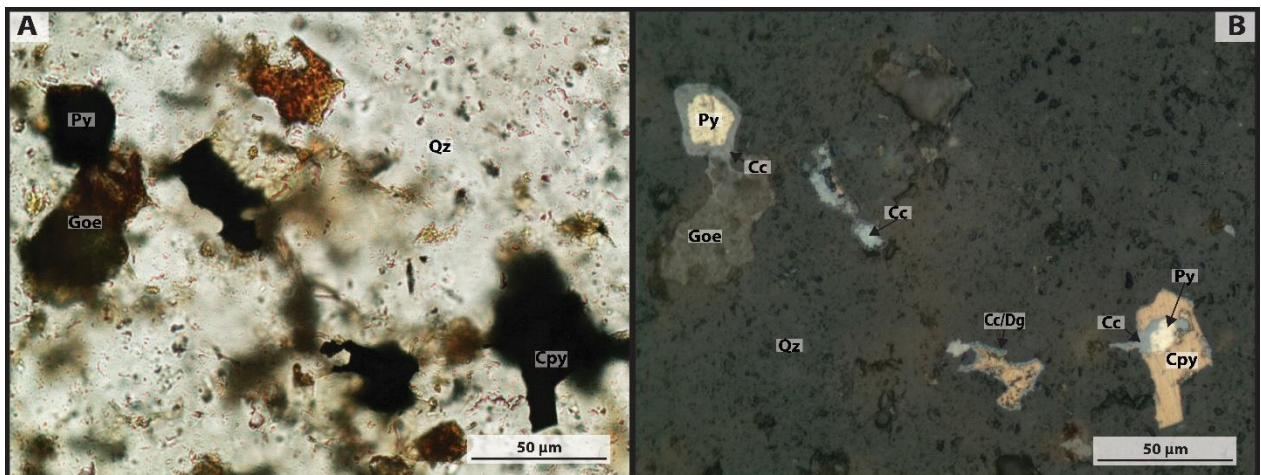


Figura 19: Sulfuros de Cu presentes en sondaje AM068 (155,2 m). Se observa calcopirita (Cpy) intercrecida con calcosina (Cc) y pirita (Py), con bordes de calcosina y digenita (Dg). Además se aprecia pirita reemplazada por calcosina. A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados.

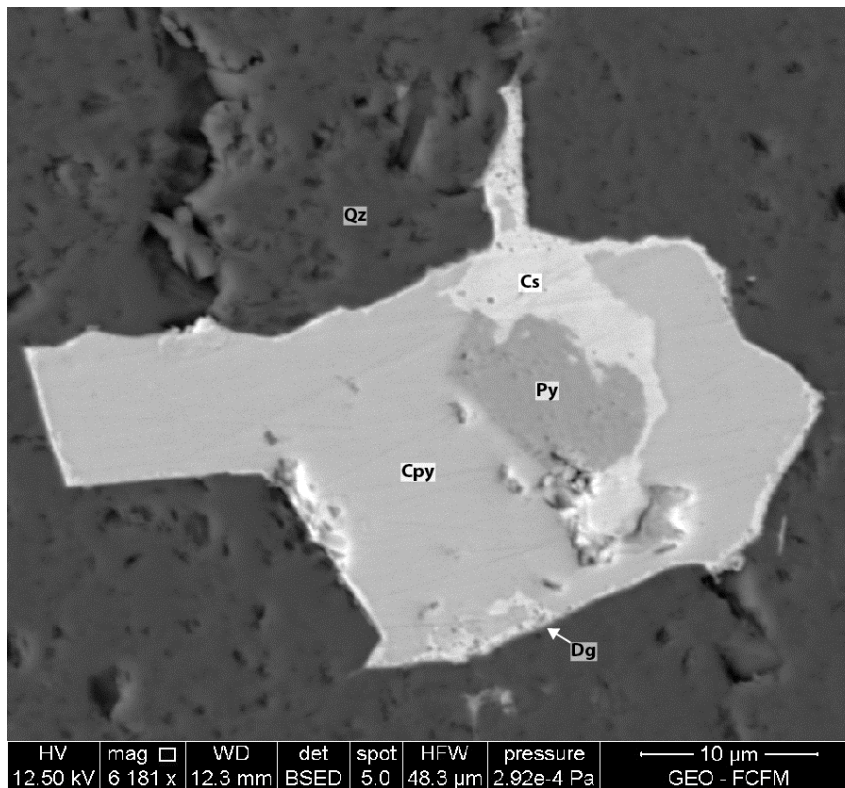


Figura 20: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Mismo cristal de calcopirita observado en la Figura 17.

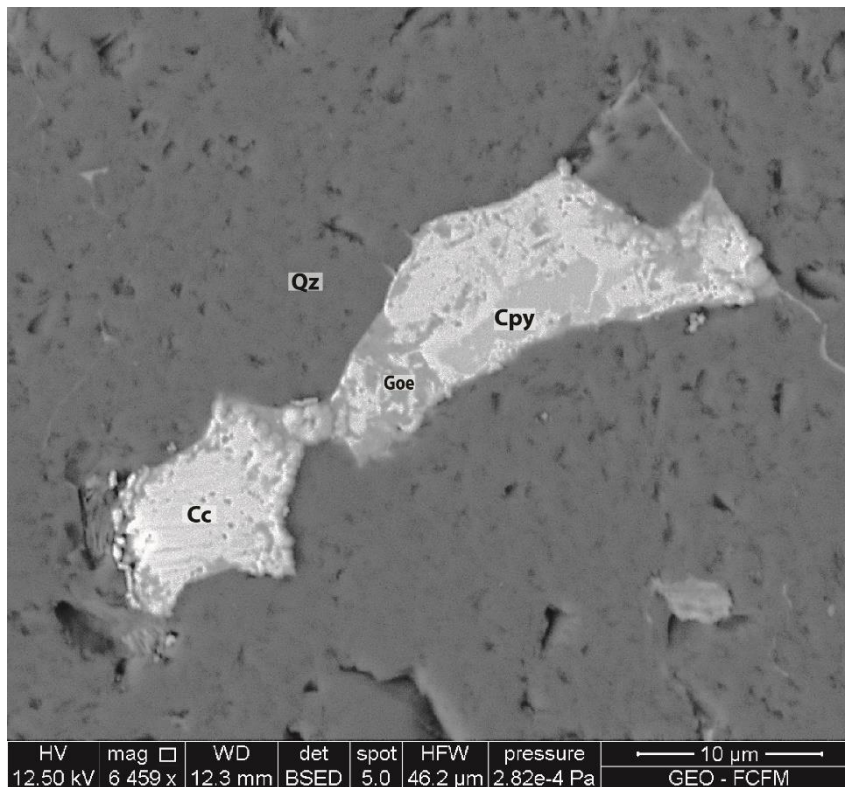


Figura 21: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m de profundidad). Cristal de calcopirita (Cpy) y calcosina (Cc), siendo reemplazado por goethita (Goe). El cristal se encuentra en cuarzo (Qz).

3.4.2.2 Sulfuros de Fe

El principal sulfuro de hierro presente en las muestras estudiadas es la pirita, aunque se encuentra en cantidades bajas comparado con la calcopirita. Se le observa como cristales anhedrales completamente rodeados por calcopirita y calcosina (Figura 20) o bien como cristales euhedrales reemplazados totalmente por goethita (Figura 22), los cuales son más abundantes que la calcopirita.

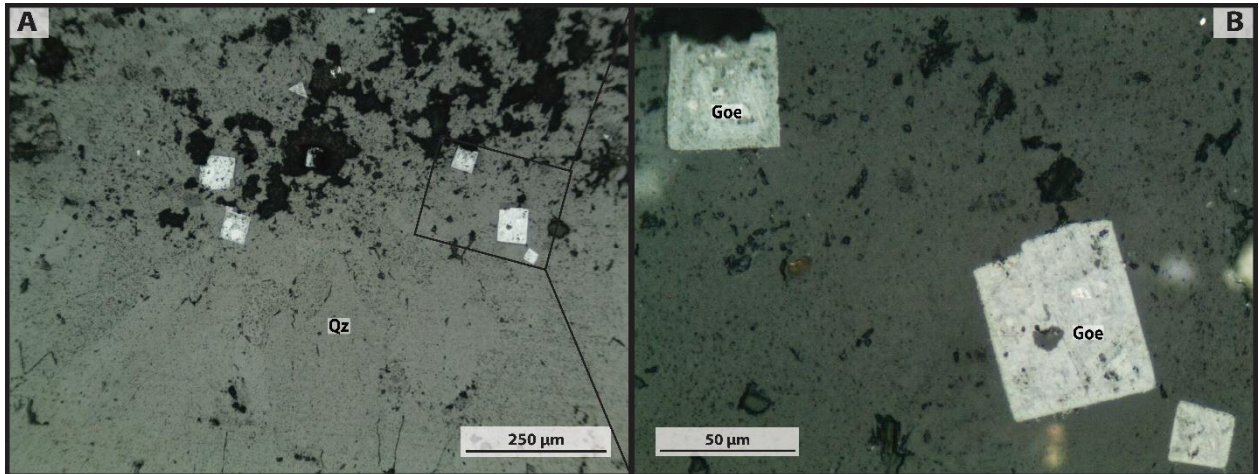


Figura 22: Reemplazo pseudomórfico de pirita euhedral por goethita (Goe) en cuarzo (Qz) presentes en sondaje AM068 (155,6 m). Observado mediante luz reflejada en nícoles paralelos. En A) vista general y en B) Detalle de los cristales cúbicos.

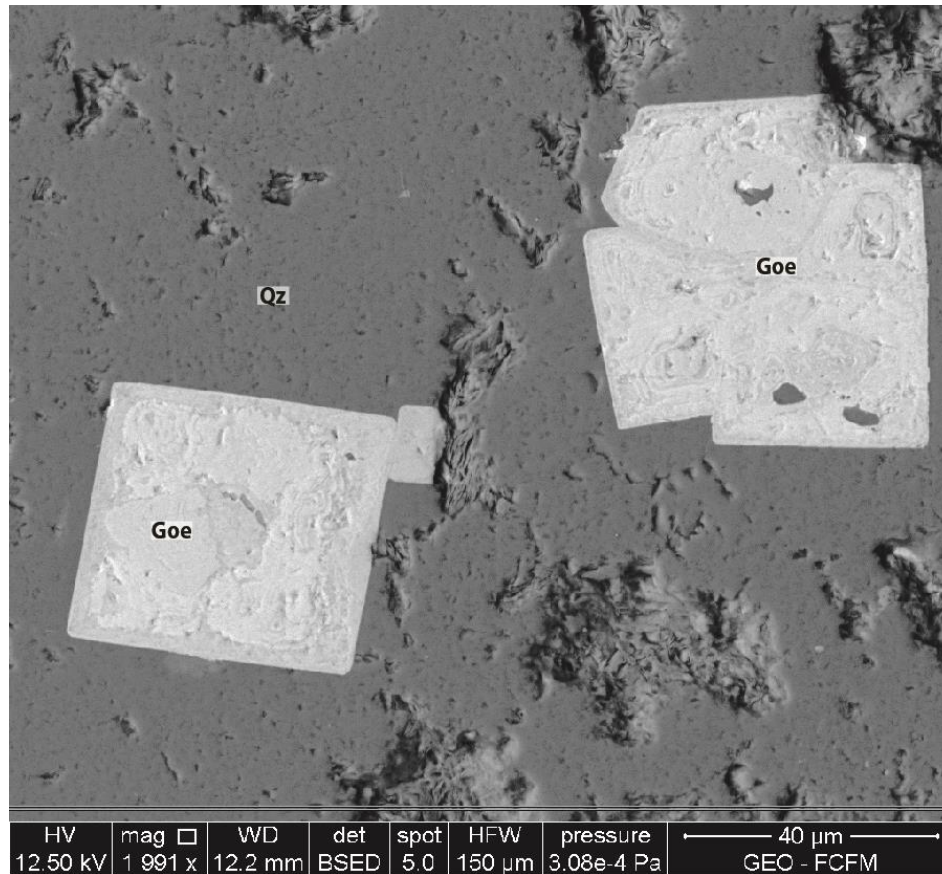


Figura 23: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Cristales de goethita (Goe) en masa fundamental de cuarzo (Qz).

Las variaciones composicionales son abundantes en la goethita y se observan muy marcadas en cristales de euhedrales de pirita que fueron reemplazados por goethita (Figura 23). Principalmente son variaciones en el contenido de arsénico y plomo presente como trazas en la goethita.

3.4.2.3 Otros sulfuros

Otros sulfuros observados son la galena y la esfalerita. Ambas se encuentran diseminadas en cuarzo (Figura 24) como cristales de pequeño tamaño (<30 μm), e intercrecidas (Figura 25) donde los cristales alcanzan hasta los 50 μm . Se observaron escasos cristales anhedrales de esfalerita con tamaño superior a los 100 μm .

Además, hay presencia de acantita pero en su mayoría se encuentra alterada a haluros de plata junto a óxidos de cobre. De acuerdo a los datos obtenidos con el microscopio electrónico de barrido, la esfalerita corresponde al miembro terminal rico en Zn (matrita, ZnS ; Gaines et al., 1997).

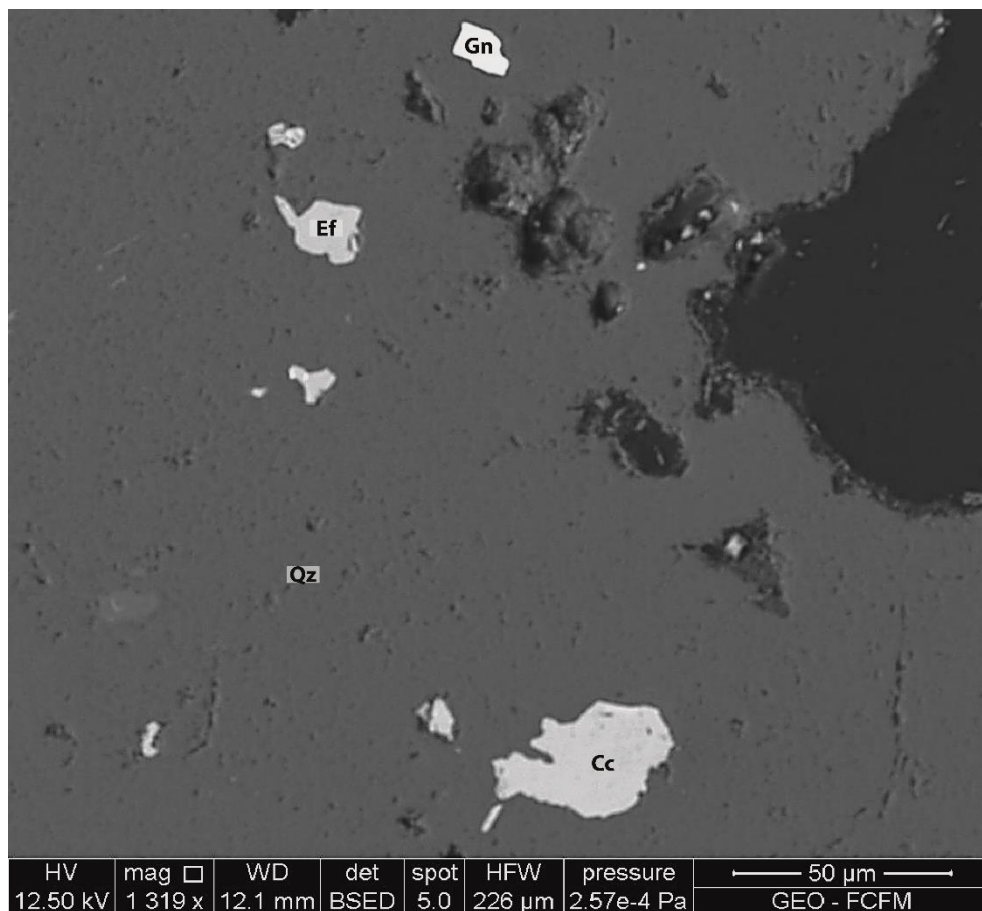


Figura 24: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Galena (Gn), esfalerita (Ef) y Calcocina (Cc) diseminados en cuarzo (Qz).

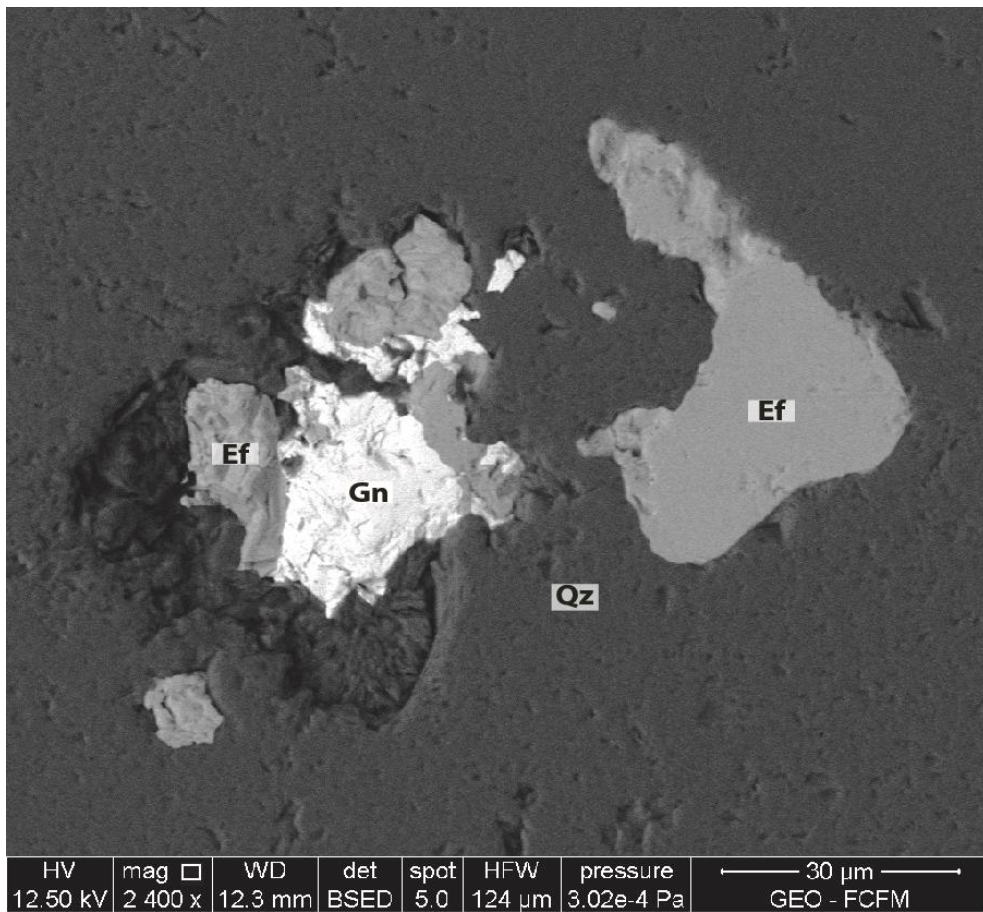


Figura 25: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Esfalerita (Ef) intercrecida con Galena (Gn) en cuarzo (Qz).

3.4.2.4 Oro

En la zona oxidada del yacimiento se encontraron partículas de oro nativo y electrum mayores a 5 μm (Figura 26). El electrum corresponde a una aleación de oro y plata con una proporción aproximada de 75 a 25%, respectivamente. El oro observado es anhedral y se le observa diseminado en cerusita, normalmente en los contactos con cuarzo o cerca de ellos (Figura 27).

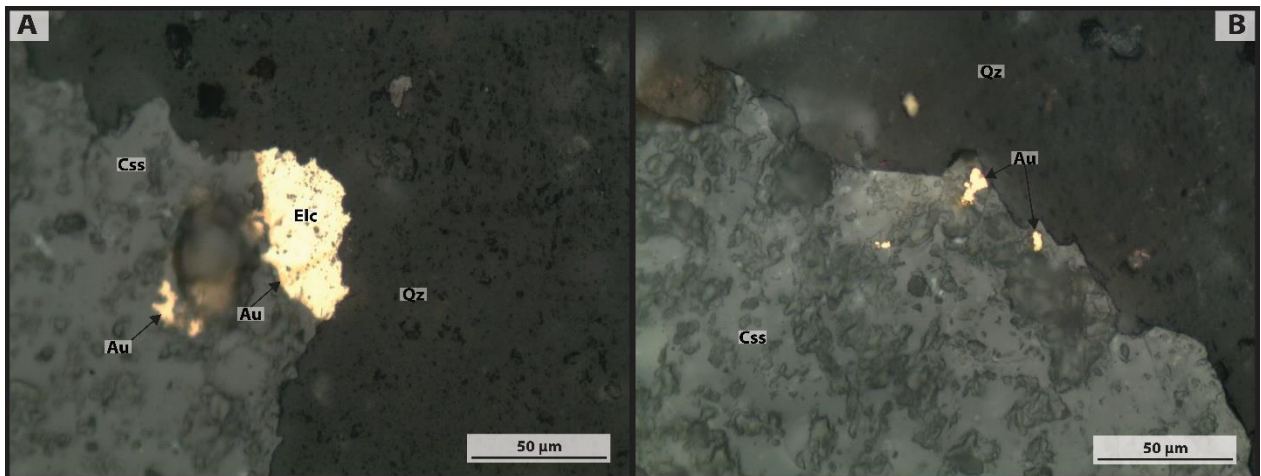


Figura 26: Oro (Au) y electrum (Elc) en contacto o cerca del contacto entre cerusita (Czs) y cuarzo (Qz). Observado mediante luz reflejada en A) nícoles paralelos y B) nícoles paralelos.

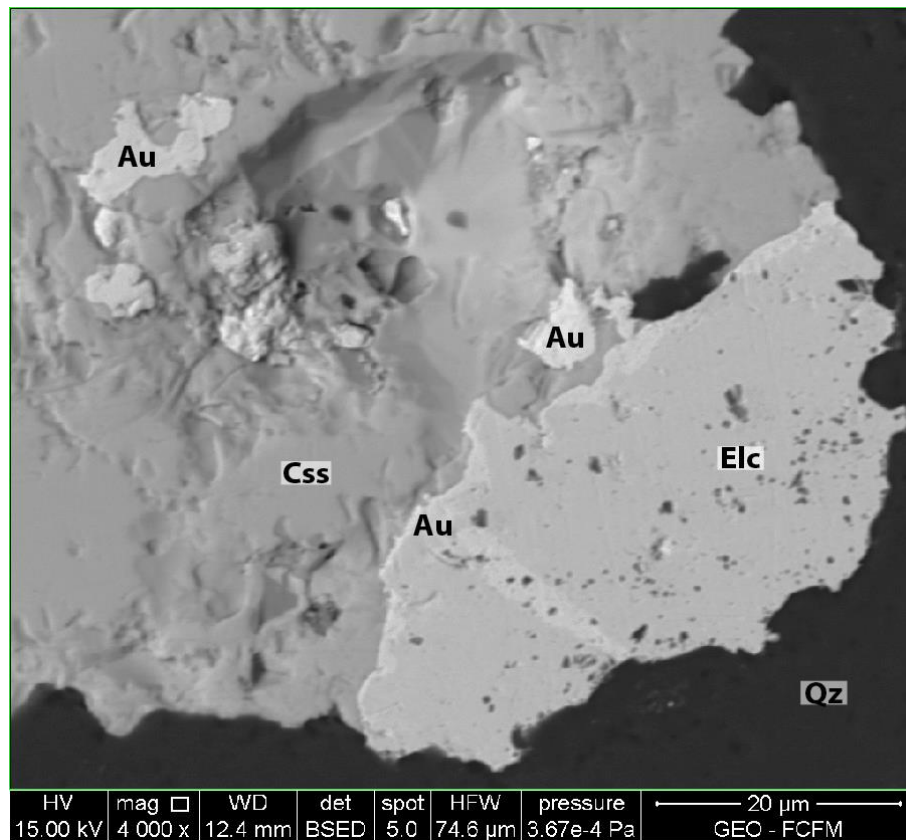


Figura 27: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM092 (69,2 m). Oro (Au) y electrum (Elc) en contacto con cerusita (Css) y cuarzo (Qz).

3.4.2.5 Óxidos de Cu

El óxido de cobre más abundante es la malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$; Figura 28) y se encuentra normalmente rellenando espacios junto a cerusita, posible mimetita ($\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$; Figura 29) y plancheíta ($\text{Cu}_8(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Figura 28); este último es un silicato de cobre de origen secundario (Gaines et al., 1997).

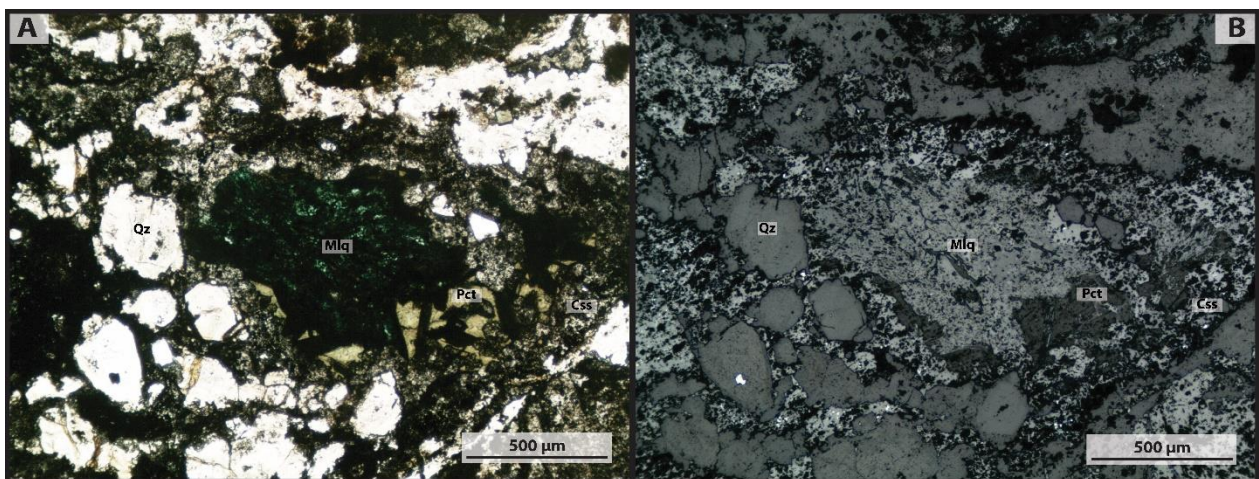


Figura 28: Muestra del sondaje AM092 (69,2 m). Malaquita (Mlq) y plancheíta? (Pct) junto a cerusita (Css), rellenando espacios en el cuarzo (Qz). A) Luz transmitida con nicoles paralelos, B) Luz reflejada con nicoles paralelos.

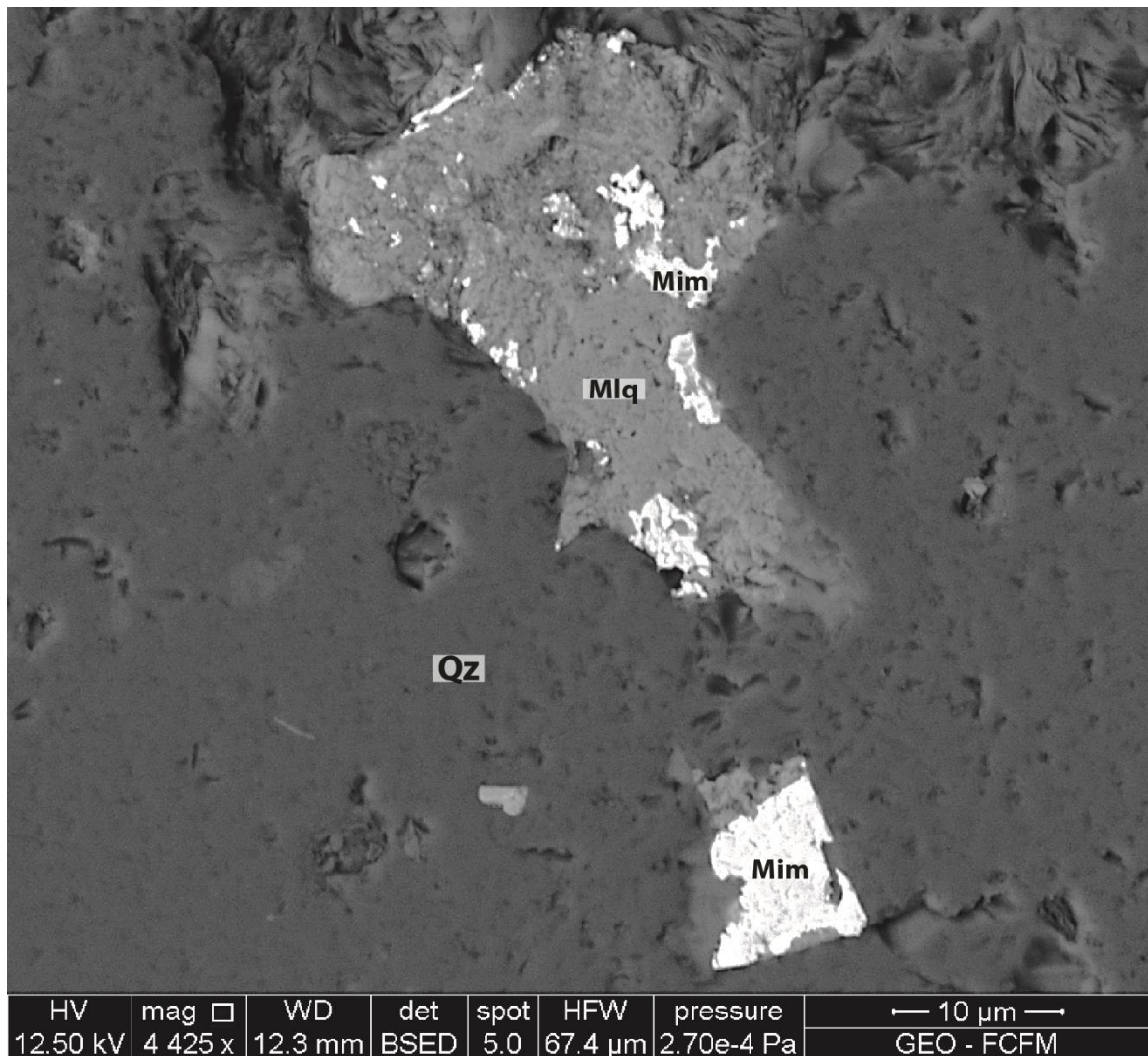


Figura 29: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Malaquita (Mlq) junto a mimetita? (Mim), relleno en cuarzo (Qz).

3.4.2.6 Óxidos de Fe

Si bien el óxido de hierro más común es goethita, también suele aparecer hematita (Figura 30) y jarosita (Figura 17). La goethita se encuentra mayormente como reemplazo de pirita. Los espacios que suele rellenar la goethita no solo corresponden a sulfuros lixiviados, sino también a espacios en el cuarzo típicos de la textura “comb” (Figura 30), pero en menor medida.

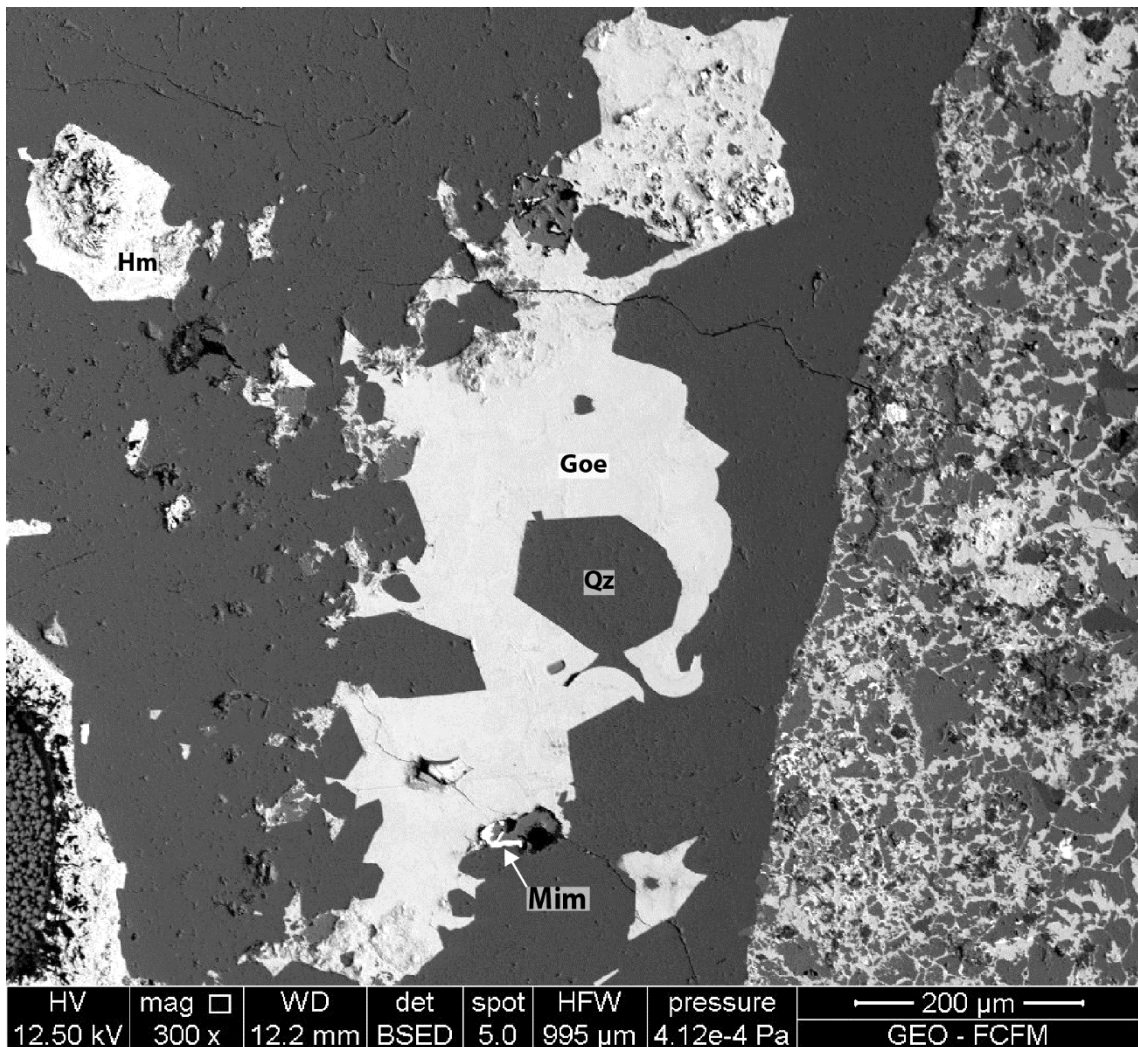


Figura 30: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Goethita (Goe) y hematita (Hm) en cuarzo (Qz).

3.4.2.7 Otros óxidos

Los análisis por SEM-EDS indican la presencia de varias fases oxidadas, entre ellas un óxido de plomo y manganeso, posiblemente coronadita ($\text{Pb}(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{2+})_8\text{O}_{16}$; Gaines et al., 1997), que se encuentra relleno de cavidades (Figura 31).

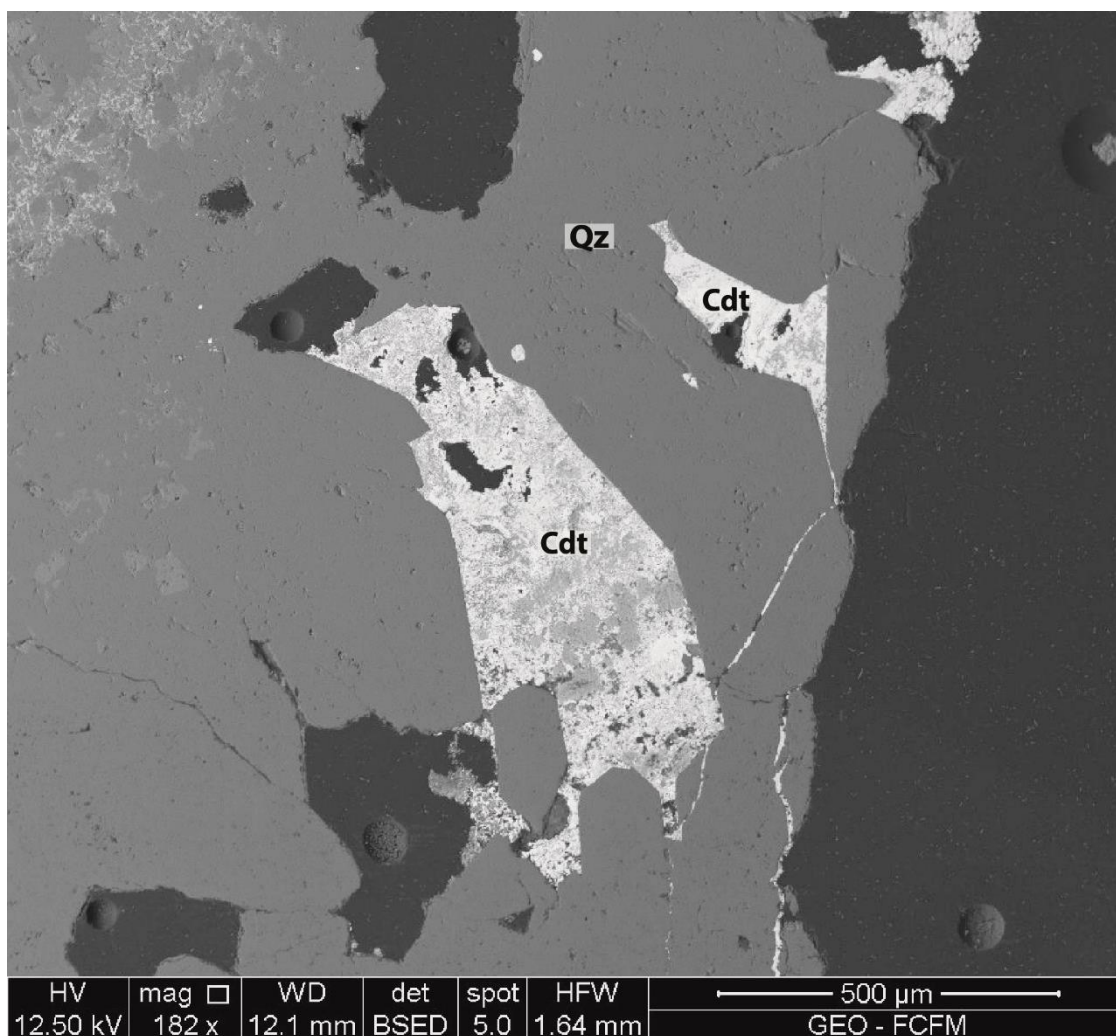


Figura 31: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM092 (69,2 m). Coronadita (Cdt) relleno cavidades en cuarzo (Qz).

Otros óxidos presentes posiblemente corresponden a aquellos asociados a la “calamina”, término utilizado para designar a los productos secundarios de zinc. La “calamina” está compuesta por smithsonita ($ZnCO_3$), hemimorfita ($Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$), hidrocincita ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$) y willemita (Zn_2SiO_4), lo que se asocia a carbonatos y óxidos de plomo previamente descritos (Campos-Quispe et al., 2014).

3.4.2.8 Vanadatos

Se reconoció además la presencia de vanadatos en las muestras, posiblemente motramita ($PbCuVO_4(OH)$; Figura 33), ocasionalmente intercrecido con vanadinita? ($Pb_5(VO_4)_3Cl$). Los vanadatos de plomo y cobre aparecen comúnmente como minerales secundarios en la zona de oxidación de variados yacimientos (Gaines et al., 1997).

Los vanadatos presentes están asociados a carbonatos (siderita o cerusita), relleno cavidades en zonas donde hay abundante adularia (Figura 15). De acuerdo a los datos obtenidos en el microscopio electrónico de barrido, el mineral oscila en la serie motramita-duftita (Gaines et al., 1997), es decir, de vanadato a arseniato, encontrando algunos cristales con altos niveles de arsénico.

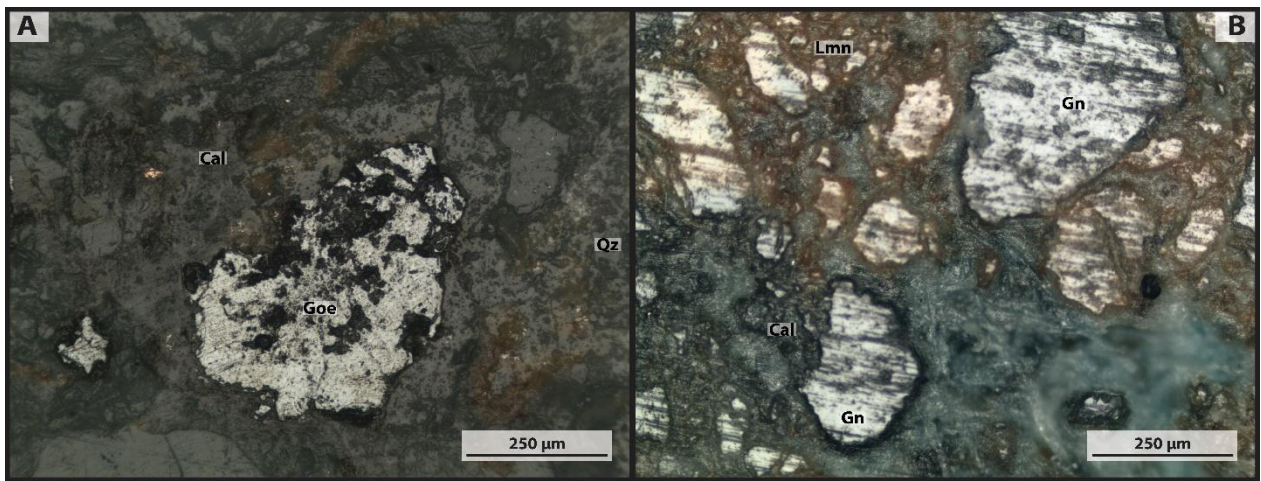


Figura 32: A) Muestra del sondaje AM071 (125,4 m). Goethita (Goe) y calamina (Cal) relleno espacios en cuarzo (Qz) Mediante luz transmitida con nicoles paralelos., B) Muestra del sondaje AM076 (70,65 m). Calamina (Cal) y limonitas (Lmn) relleno espacios entre galena (Gn). Mediante luz reflejada con nicoles paralelos.

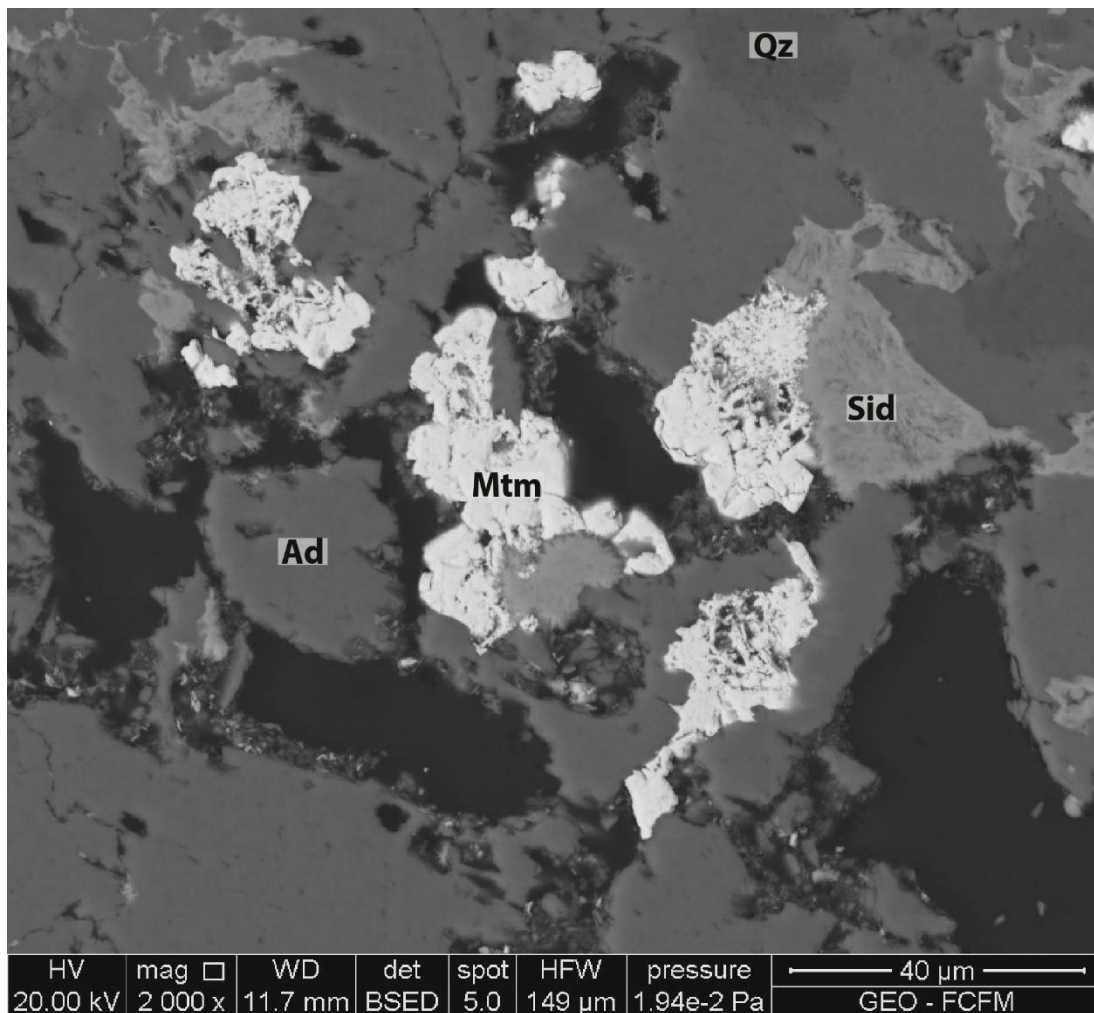


Figura 33: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Motramita (Mtm) junto a siderita (Sid), en adularia (Ad) bastante meteorizada y cuarzo (Qz), con abundantes oquedades.

3.4.2.9 Arseniatos

El arsénico suele estar presente en algunos cristales de pirita en bajas concentraciones. En la mayoría de las muestras estudiadas, el arsénico se encuentra como arseniato junto al Pb y Cl, formando posiblemente mimetita ($\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$), que suele encontrarse en las zonas oxidadas de yacimientos de plomo (Gaines et al., 1997).

La mimetita se encuentra en muy bajas cantidades junto a celestina? (SrSO_4) perteneciente al grupo de la baritina (Gaines et al., 1997). Los pocos cristales observados son menores a $5\ \mu\text{m}$ y al parecer la mimetita estaría reemplazando a la celestina (Figura 34).

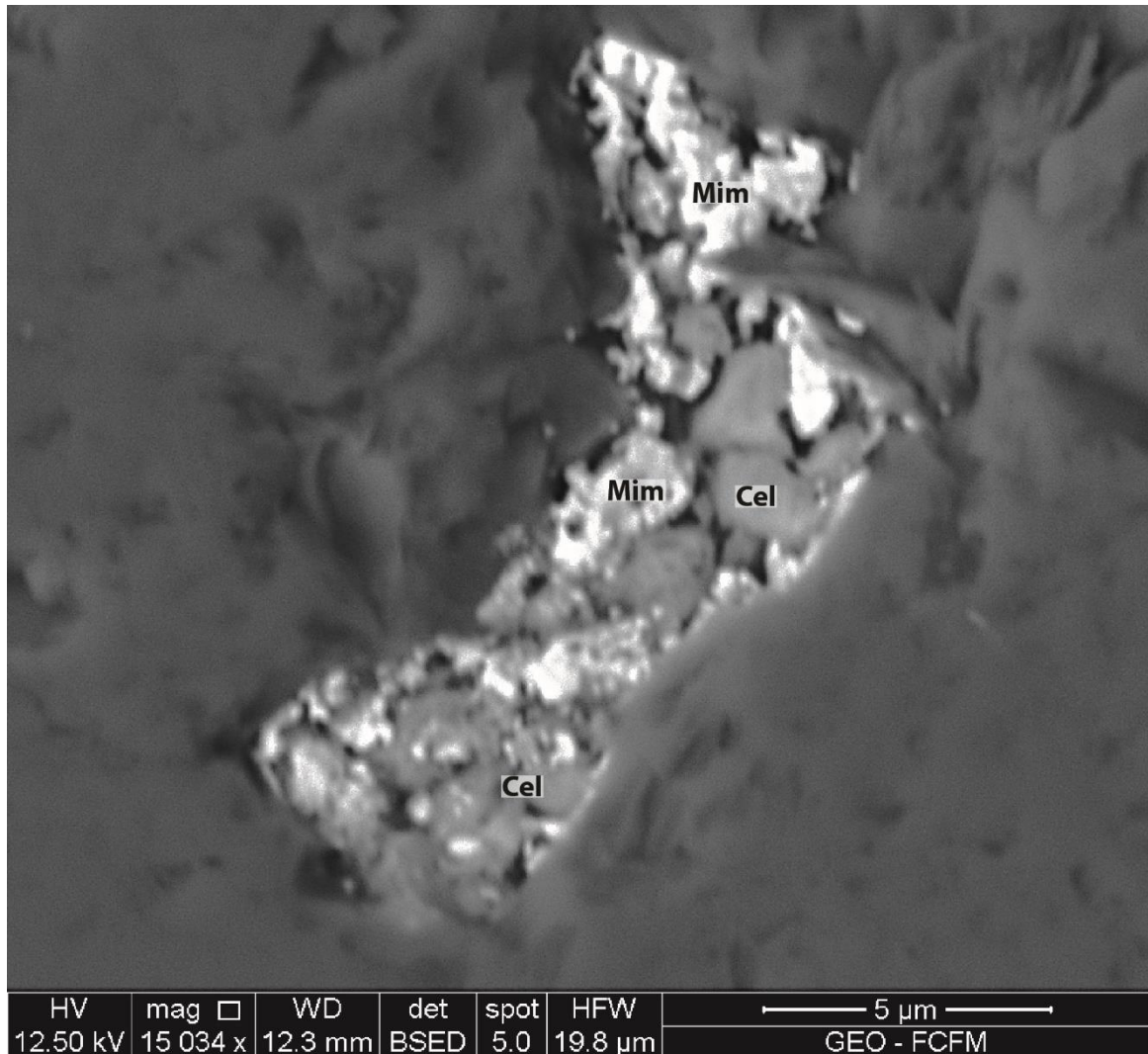


Figura 34: Imagen de electrones retrodispersados (BSE) de sondaje AM068 (155,6 m). Mimetita (Mim) junto a celestina (Cel) en cuarzo.

3.5 Mineralización de Au-Ag-Cu

La mineralización de plata se encuentra principalmente asociada a sulfuros y haluros de plata, y en menor medida a partículas de electrum. Por otra parte, la mineralización de oro se encuentra como oro nativo y electrum diseminado como partículas submicroscópicas en el cuarzo y adularia, además de concentrada en partículas mayores de hasta 50 μm en cerusita (Figura 26).

La mineralización de cobre se encuentra asociada a sulfuros, mayormente calcopirita y calcosina, pero en las zonas someras de la veta, sobre los 1800 m, se encontraron óxidos de cobre que se atribuyen a un evento de oxidación supérgena.

Un estudio exploratorio de datos muestra que existe una relación entre el oro y la plata, encontrándose acoplados (Figura 35). Además, la relación entre oro y plata es ligeramente menor en la roca caja que en la veta, al igual que la relación entre la plata y el cobre. No así para el oro y cobre, que muestra la misma relación en la veta y en la roca caja (Tabla 1).

Tabla 1: Coeficientes de correlación entre leyes Au-Ag-Cu del total de los datos y de los que corresponden a veta.

	Total	Veta
Au-Ag	0,51	0,60
Au-Cu	0,42	0,44
Ag-Cu	0,50	0,55

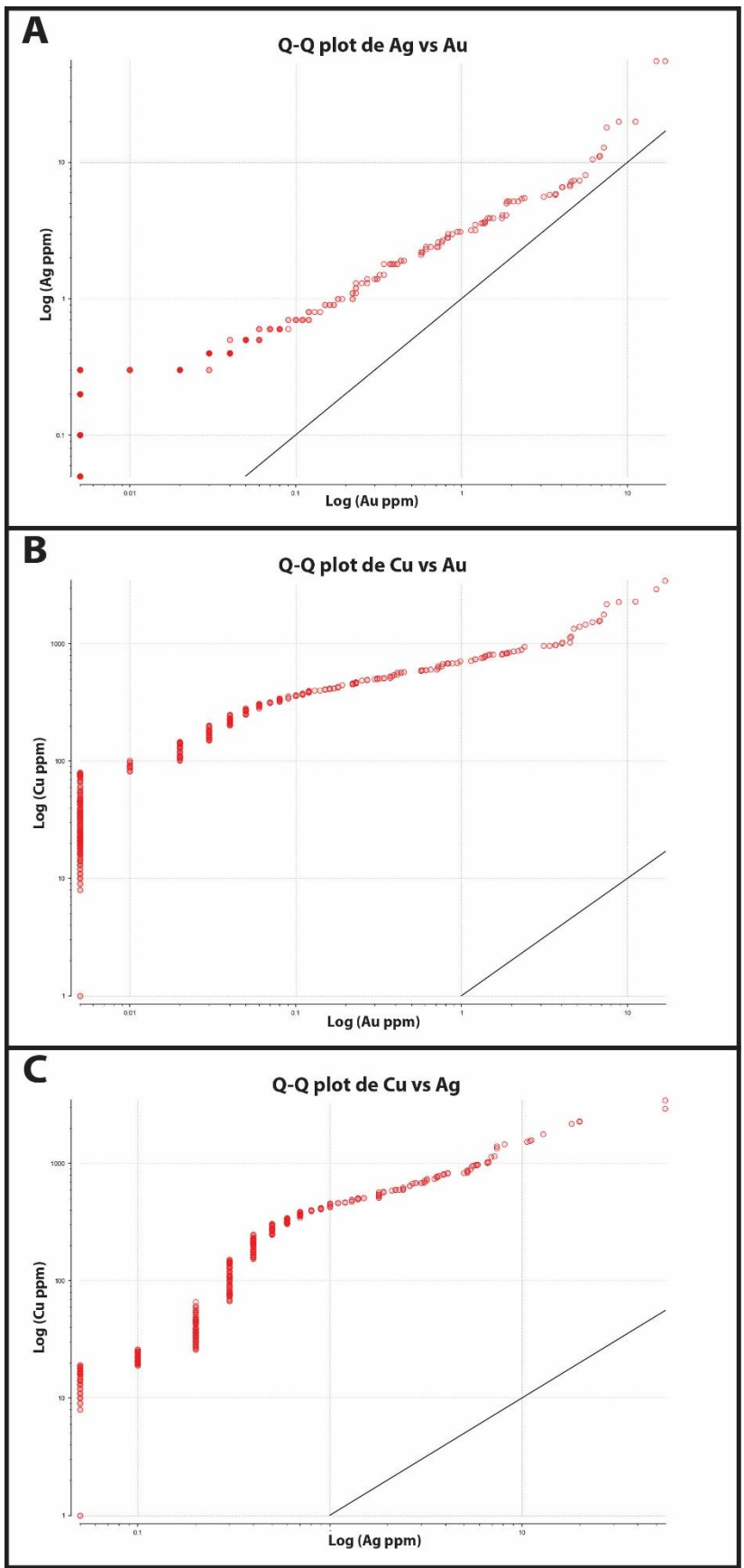


Figura 35: Q-Q plot de pares de leyes de cobre, oro y plata.

4 Modelos

4.1 Generalidades

Leapfrog Geo es un software de modelamiento geológico 3D, el cual realiza modelamiento implícito. La principal diferencia entre modelamiento implícito y explícito (e.g. kriging) es la complejidad del cálculo matemático, donde el modelamiento explícito calcula el estado de un sistema en un tiempo posterior a partir del estado actual, mientras que el modelamiento implícito encuentra una solución resolviendo una ecuación que considera tanto el estado actual de un sistema como el estado posterior (Ascher et al., 1997).

Así, para el modelamiento implícito se tiene la siguiente ecuación:

$$Y(t + \Delta t) = F(Y(t))$$

Mientras que para el modelamiento explícito se tienen la siguiente ecuación:

$$G(Y(t), Y(t + \Delta t)) = 0$$

En la práctica esto se traduce en que un modelo se obtiene a partir de los datos en las tres dimensiones, sin la necesidad de realizar primero modelos en dos dimensiones para luego proyectarlos. Existen varios métodos de modelamiento implícito, uno de los más utilizados hoy en día es el método de interpolación en base a funciones de base radial (RBF), utilizado por Leapfrog.

En palabras simples una RBF es una función que cambia con la distancia a una ubicación, es decir, los valores no solo van a depender de la distancia a cada uno de los datos sino también de la función generada para cada uno de esos datos (Broomhead y Lowe, 1988). Claramente estas funciones matemáticas requieren de una capacidad de computación bastante alta pero que con la tecnología de hoy en día es realizable en una computadora personal.

4.2 Litología

Con los datos de litologías obtenidos en terreno y brindados por la compañía se elaboró un modelo de litologías (Figura 36), el cual es crucial para la posterior estimación de leyes, ya que brinda los límites de la veta.

Para la elaboración de este modelo se considera solo el contacto de la veta con la roca caja, que corresponde a la Brecha Amancaya, y la cubierta aluvial. Para la estimación de los anchos de la veta se consideran sólo los sondajes de diamantina, ya que los sondajes de aire reverso realizados con anterioridad tienen un soporte de 2 m, lo que se traduce en un ancho mínimo de veta de 2 m y, por lo tanto, una sobreestimación.

Esta sobreestimación se comprobó con la realización de modelos con los mismos límites espaciales utilizando los sondajes de aire reverso y los de diamantina, con lo que se obtiene una estimación en volumen 36,1% menor usando sondajes de diamantina (Tabla 2).

El manto promedio obtenido para la veta es de 73°E y el ancho promedio es de 2,3 m.

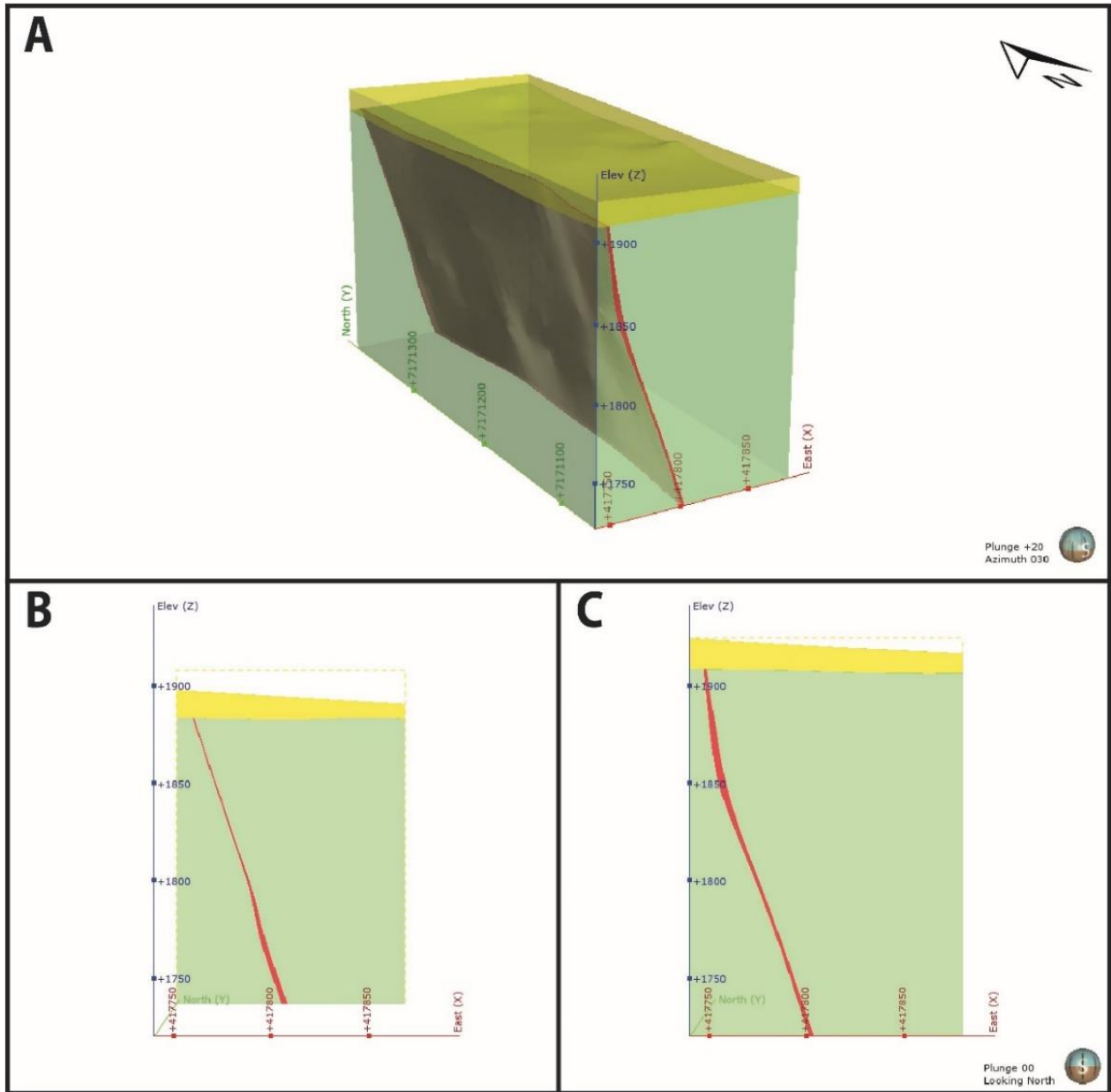


Figura 36: Modelo de litología. En rojo la veta Julia, en verde la Brecha Amancaya y en amarillo la cubierta aluvial. A) Vista isométrica con transparencia aplicada para poder apreciar la veta en su interior. B) Sección transversal a la veta, realizada en la coordenada 7171300. C) Sección transversal a la veta, realizada en la coordenada 7171100.

4.3 Leyes Au-Ag-Cu

Mediante interpolación RBF dentro de la veta se estimaron las leyes de oro, plata y cobre. Donde se clasifican las leyes en 5 categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Los modelos realizados son presentados a través de vistas laterales (hacia el este) y con la finalidad de facilitar el uso de éstos modelos se utiliza un sistema de cuadrantes, asignando números a la componente norte y letras a la componente este.

Para el oro (Figura 37) se encuentran zonas de alta ley preferentemente en profundidad, como se observa en los cuadrantes C4 y C6, siendo esta última la zona de mayor interés con leyes de Au cercanas a los 9 ppm. El cuadrante B5 presenta una zona de alta ley restringida que varía rápidamente a baja ley hacia el cuadrante B4. Hacia el sur las leyes son mayores en superficie (4-8 ppm) disminuyendo a valores moderados en profundidad (2-4 ppm). De la Figura 37 se desprende que los cuadrantes A4, B3 y B4 son los que presentan las leyes de Au más bajas (<2 ppm).

La plata (Figura 38) presenta zonas de alta ley hacia el sur, especialmente en el cuadrante A2 (>20 ppm), mientras que las zonas de baja ley se observan hacia el norte, principalmente en el cuadrante A5 (<5 ppm).

El cobre (Figura 39) presenta una tendencia mucho más marcada hacia el sur. Los cuadrantes con mayor ley son B2 y B3 (>0,25% en peso), mientras que los de menor ley se encuentran hacia el cuadrante A6 (<0,15% en peso).

Tabla 2: Tabla de volumen y masa versus tipo de pozo.

Tipo de Pozo	Volumen (m³)	Masa (Ton)
Aire Reverso	163850	426010
Diamantina	104750	272350

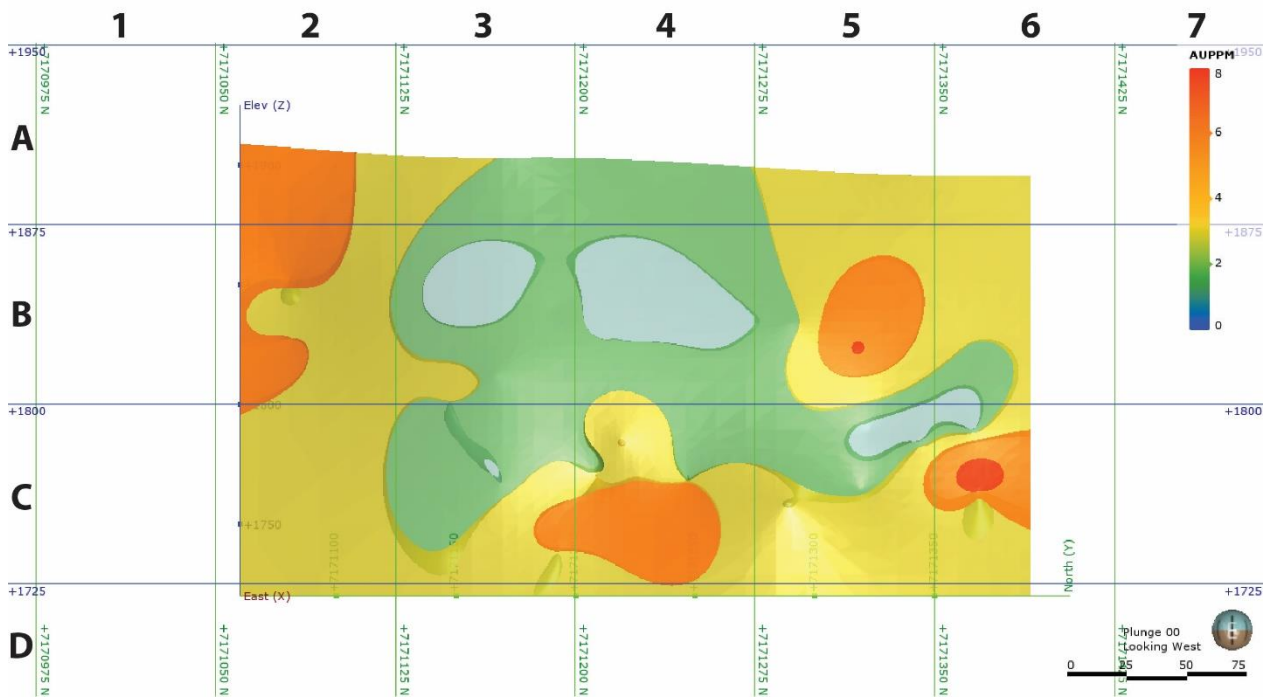


Figura 37: Modelo de leyes de oro, vista hacia el oeste, usando interpolador RBF. En azul leyes menores a 1,0 ppm, en verde leyes entre 1,0 ppm y 2,0 ppm, en amarillo leyes entre 2,0 ppm y 4,0 ppm, en naranja leyes entre 4,0 ppm y 8,0 ppm, y en rojo leyes mayores a 8,0 ppm.

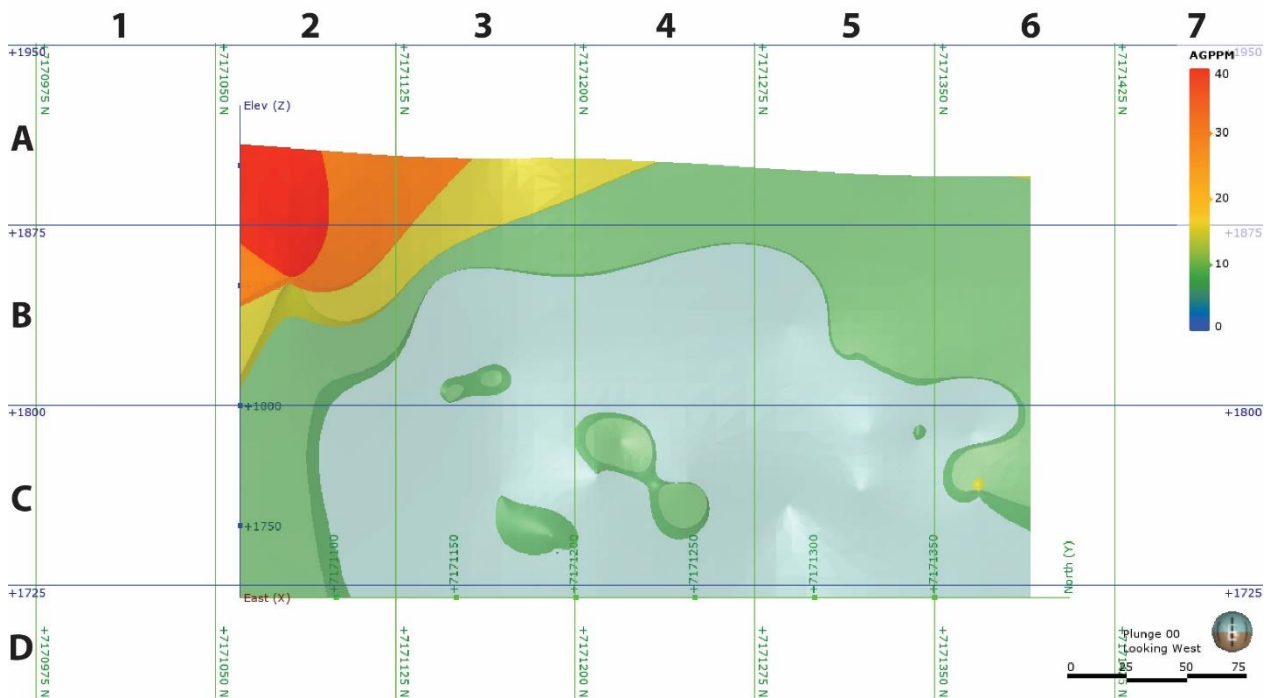


Figura 38: Modelo de leyes de plata, vista hacia el oeste, usando interpolador RBF. En azul leyes menores a 5,0 ppm, en verde leyes entre 5,0 ppm y 10,0 ppm, en amarillo leyes entre 10,0 ppm y 20,0 ppm, en naranja leyes entre 20,0 ppm y 40,0 ppm, y en rojo leyes mayores a 40,0 ppm.

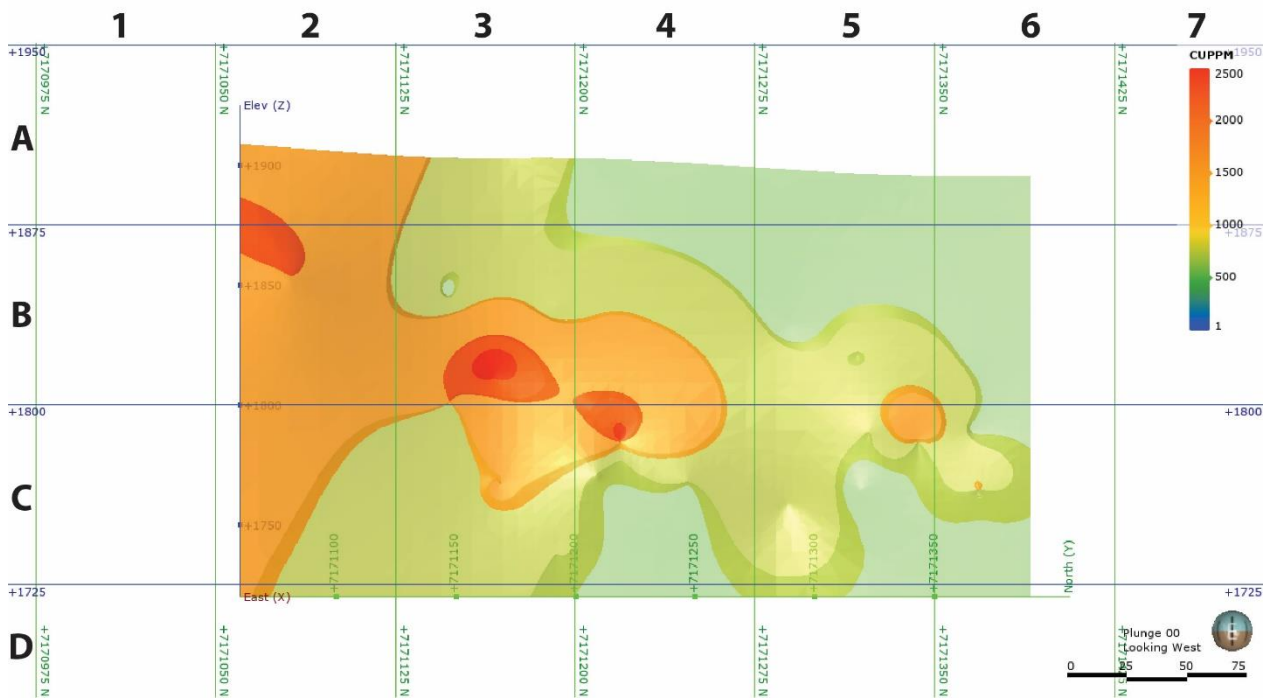


Figura 39: Modelo de leyes de cobre, vista hacia el oeste, usando interpolador RBF. En azul leyes menores a 500 ppm, en verde leyes entre 500 ppm y 1500 ppm, en amarillo leyes entre 1500 ppm y 2500 ppm, en naranja leyes entre 2500 ppm y 3500 ppm, y en rojo leyes mayores a 3500 ppm.

4.4 Modelo de bloques

En base a los modelos de leyes se puede realizar un modelo de bloques dentro de la veta, utilizando los límites modelados para la litología. La elección del tamaño y la forma del bloque es crucial, por lo que se realizaron 5 modelos con distintas celdas y así obtener un tamaño óptimo.

Existen zonas donde la veta tiene menos de un metro de ancho, por lo que los tamaños uniformes de 1 m y 2 m no consideran aquellos bloques y se requiere un modelo de bloques de al menos 0,5 m. Pero un tamaño de bloque cúbico de 0,5 m requiere muchos recursos para la estimación, por lo tanto es necesario considerar una forma no cúbica y optar por un ortoedro o prisma rectangular.

Con la finalidad de observar mejor las variaciones que tiene la veta de norte a sur se decidió utilizar un largo de 1 m en la componente norte y 1,5 m en la componente vertical ya que la variación vertical se encuentra mejor caracterizada y así el bloque óptimo quedó definido por las dimensiones 0,5 m x 1 m x 1,5 m. De esta manera se obtienen los datos (Tabla 3) y se realizaron 5 modelos con los tamaños ya mencionados.

En la Tabla 4 se presentan las cantidades de oro, plata y cobre estimadas para los distintos modelos de bloques, considerando una densidad para la veta de 2,6 g/t correspondiente a la densidad del cuarzo y una ley de corte de 1,5 g/t de Au equivalente con un factor calculado según los valores en dólares de las onzas de oro y plata en enero del 2019.

Tabla 3: Datos modelo de bloques. Id corresponde a un número identificador para cada dato, X es la coordenada este, Y la coordenada Norte, Z la altura. dX, dY, dZ son las medidas del bloque, y Ag (ppm), Au (ppm) y Cu (ppm) son las leyes estimadas.

Id	X	Y	Z	dX	dY	dZ	Ag(ppm)	Au(ppm)	Cu(ppm)
792246	417801,25	7171060,5	1720,25	0,5	1	1,5	7,02602	3,00803	1027,861
792247	417801,75	7171060,5	1720,25	0,5	1	1,5	7,09078	3,01903	1035,753
792248	417802,25	7171060,5	1720,25	0,5	1	1,5	7,15556	3,03003	1043,648
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8379273	417748,75	7171073,5	1907,75	0,5	1	1,5	43,0888	5,07538	1831,231

Tabla 4: Cantidades de oro y plata en onzas para cada modelo realizado. En amarillo el tamaño seleccionado.

Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Vol. Celda (m³)	N° Celdas	Volumen (m³)	Au Total (Oz)	Ag Total (Oz)
2	2	2	8	12812	102496	26426,3	74723,4
1	1	1	1	102547	102547	26477,4	74829,8
0,5	0,5	0,5	0,125	820435	102554	26488,8	74882,8
1	1,5	2	3	34206	102618	26538,1	75268,6
0,5	1	1,5	0,75	137403	103052	26600,4	75032,9

Es importante notar que el tamaño de bloque seleccionado es el que tiene un mayor volumen y estima la mayor cantidad de onzas de oro, pero no de plata. También la cantidad de bloques no es excesiva y no tiene un costo computacional grande, al menos no tan diferente a las celdas cúbicas de 1 m de lado.

Así los coeficientes de relación entre las variables del modelo de bloques (Tabla 5) muestran una relación mayor entre plata y cobre, que entre plata y oro. Por su parte, el oro y la plata no muestran relación alguna.

Tabla 5: Coeficientes de correlación entre leyes de Au-Ag-Cu en el modelo de bloques.

	Ag (ppm)	Ag (ppm)	Cu (ppm)
Ag (ppm)	1		
Au (ppm)	0,46	1	
Cu (ppm)	0,60	0,13	1

4.5 Sección longitudinal de ancho y ley de la veta

Al considerar la explotación de la veta no solo es importante la ley de Au y Ag, sino también el ancho de la veta. Una relación muy utilizada para determinar clavos mineralizados y zonas de baja ley es la multiplicación de ancho y ley. Para poder realizar esta metodología primeramente es necesario identificar los interceptos y calcular el ancho real de la veta en cada intercepto, ya que según la inclinación del pozo y de la veta varía el ancho real en cada sondaje.

Luego se calcula una ley ponderada de Au, Ag y Cu en el intercepto, y esto se multiplica por el ancho calculado de la veta en cada punto. Así se calculan 21 interceptos cuyos datos se reportan en el Anexo 2: Interceptos de veta. Estos interceptos se utilizan para realizar una interpolación RBF y obtener los modelos buscados.

El modelo muestra que la veta presenta un ancho cercano a los 4 m en el cuadrante B1 que se encuentra en superficie hacia el sur, y la segunda en el cuadrante C5 que se encuentra en profundidad hacia el norte (Figura 40). La mayor parte de la veta tiene un ancho entre 1 y 2 m, mientras que zonas con un ancho <1 m se concentran entre los 1800 y 1850 m de profundidad.

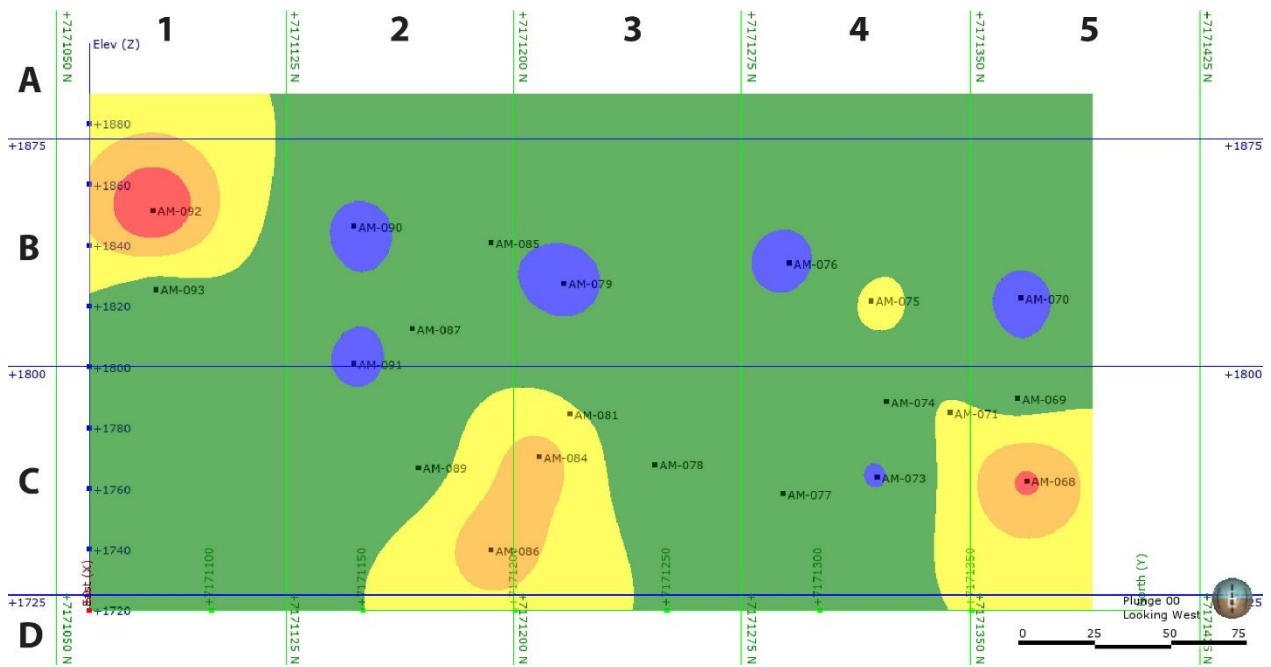


Figura 40: Sección longitudinal del ancho de la veta. En azul se ilustran las zonas con un ancho menor a 1 m, en verde entre 1 y 2 m, en amarillo entre 2 y 3 m, en naranja entre 3 y 4 m, y en rojo los anchos son cercanos a 5 m.

El oro (Figura 41) muestra clavos mineralizados muy similares a los del modelo de leyes, pero aquí es posible notar la importancia del cuadrante B1, ya que es la zona que tiene mayores valores.

Como ya se mencionó anteriormente, cerca de la superficie aparecen zonas de menor interés, contrario a lo visto en profundidad, donde hay más clavos mineralizados y zonas de alta ley y ancho de veta mayor. Sin embargo, el cuadrante C4 presenta valores bajos, y difiere levemente de la tendencia en profundidad.

La plata (Figura 42) por su parte, tiene un clavo mineralizado de interés en el cuadrante B1, el que también es de relevancia para el oro. En general la veta no es de interés en cuanto a plata, aunque presenta zonas con mayores leyes y ancho (20 ppm x m) en profundidad.

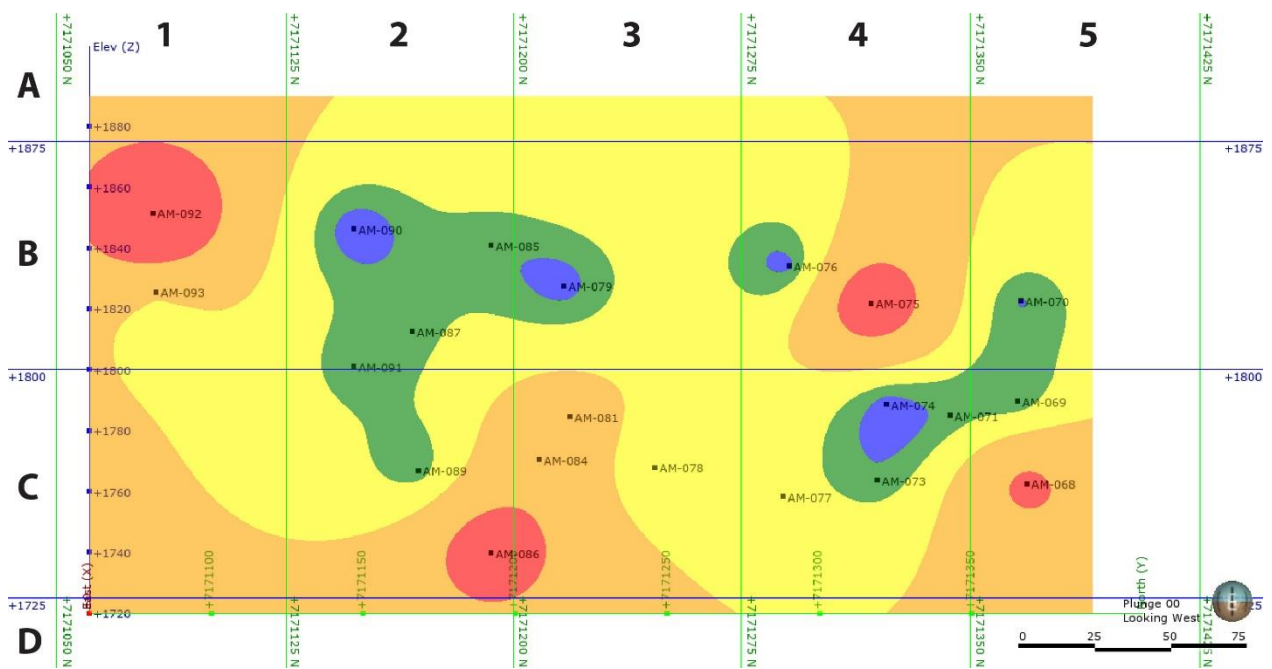


Figura 41: Sección longitudinal de ancho por ley de oro. En azul los valores menores a 1,5 ppm x m, en verde entre 1,5 y 3,0 ppm x m, en amarillos entre 3,0 y 6,0 ppm x m, en naranja entre 6,0 y 12,0 ppm x m y en rojo los valores son cercanos a 20,0 ppm x m.

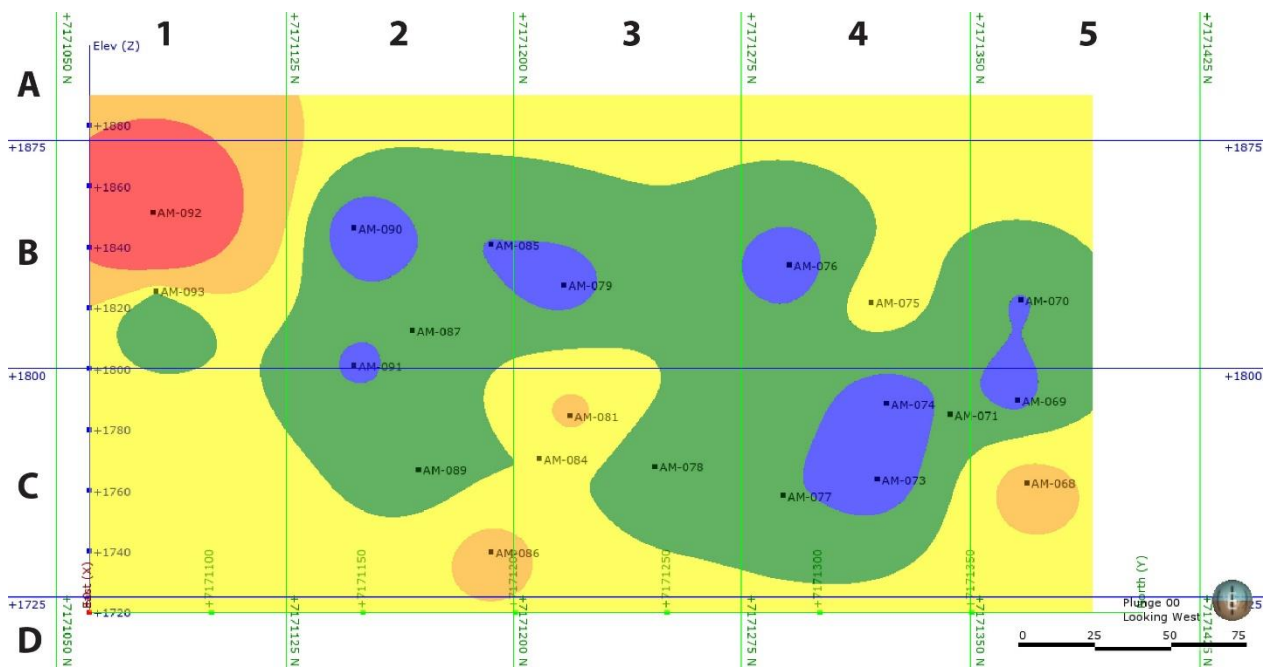


Figura 42: Sección longitudinal de ancho por ley de plata. En azul los valores menores a 5,0 ppm x m, en verde entre 5,0 y 10,0 ppm x m, en amarillos entre 10,0 y 15,0 ppm x m, en naranja entre 15,0 y 20,0 ppm x m y en rojo los valores son cercanos a 40,0 ppm x m.

El cobre (Figura 43) presenta una distribución de ancho y ley bastante similar a la plata, mostrando mayores valores hacia el sur, donde en superficie alcanza valores superiores a 0,35% en peso. Gran parte de la veta presenta valores bajos que no son de preocupación, pero el ancho y ley de Cu del cuadrante C1 es de especial interés ya que, si bien tiene altos valores de oro y plata, las leyes de cobre también son altas, lo que aumentaría el costo en la explotación del oro y la plata.

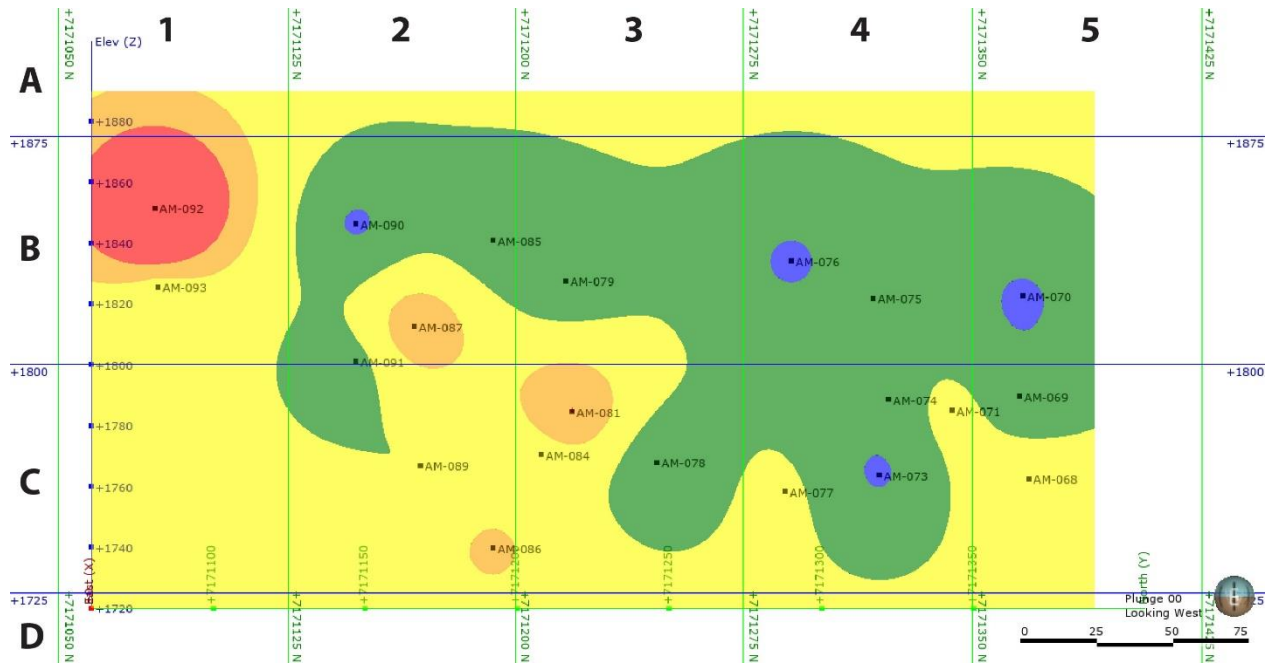


Figura 43: Sección longitudinal de ancho por ley de plata. En azul los valores menores a 500 ppm x m, en verde entre 500 y 1500 ppm x m, en amarillos entre 1500 y 2500 ppm x m, en naranjo entre 2500 y 3500 ppm x m y en rojo los valores alcanzan los 7000 ppm x m.

5 Discusión

A continuación se discuten los aspectos relevantes asociados a la caracterización litológica, de alteración y mineralización de la veta Julia. Se establece una secuencia paragenética para los minerales presentes en la veta, además de abordar las implicancias metalúrgicas y exploratorias.

5.1 Litología

La roca caja del prospecto corresponde a una brecha piroclástica de la Formación Chile-Alemania (Chong, 1973). A nivel distrital, la brecha presenta intercalaciones con niveles de oleadas piroclásticas, las cuales no se reconocen en la zona de estudio. Sin embargo, no se descarta su presencia en profundidad, ya que este tipo de estructuras no puede ser reconocido en *cuttings* de sondajes de aire reverso.

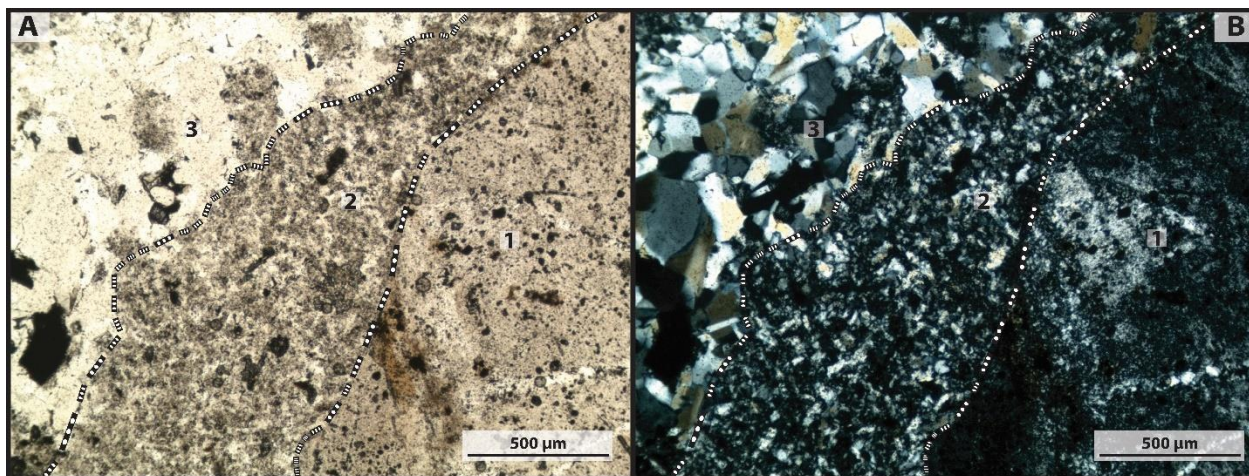


Figura 44: Niveles de brechización presente en sondaje AM084 (155,2 m). Observado mediante luz transmitida en A) nícoles paralelos y B) nícoles cruzados. Los números 1, 2 y 3 representan los niveles de brechización.

En particular, la veta Julia presenta 2 tipos de litologías; la primera corresponde a una veta crustiforme de cuarzo con texturas “*comb*” y “*jigsaw*”, y la segunda a una brecha hidrotermal de cuarzo que también presenta texturas “*comb*” y “*jigsaw*”. El contacto entre ambas litologías es difuso debido a que la brecha hidrotermal se forma a partir de la veta. Además la veta presenta zonas con brechización intensa probablemente asociado a estructuras locales.

La principal diferencia entre la veta Julia y la veta Central en el distrito Amancaya es la orientación de estas. La veta Julia presenta una orientación N-S, que es la principal orientación de las estructuras regionales de la zona, mientras que la veta Central tiene una orientación NNE-SSO.

Si bien no se encontraron indicadores cinemáticos en la veta Julia, sí se observa evidencia de que el comportamiento de la estructura donde se emplaza la veta tiene un carácter más regional y su actividad tectónica ha sido mucho mayor, lo que se ve evidenciado en una serie de texturas brechosas en la veta, es decir, brechas formadas a partir de brechas hidrotermales preexistentes (Figura 44).

5.2 Alteración

La alteración hidrotermal observada en las cercanías de la veta es producto de la circulación de fluidos, los mismos que generan la veta y coincide con el modelo de alteraciones presentado por Hedenquist et al. (2000) para un depósito epitermal de baja sulfuración.

En cuanto a la ganga dentro de la veta, está representada mayormente por cuarzo, adularia y carbonatos (Figura 45). De acuerdo a la secuencia paragenética confeccionada se identificaron al menos 2 eventos principales, uno hipógeno caracterizado por sucesivas brechizaciones y la presencia de sulfuros, y uno supérgeno que se destaca por la oxidación de los sulfuros, generando limonitas, cerusita y óxidos de cobre.

El primer evento se caracteriza por las texturas “*jigsaw*”, “*comb*” y plumosa, correspondiente a texturas de recristalización del cuarzo (Dong et al., 1995; Moncada et al., 2012) que se formarían a partir de calcedonia (Fournier, 1985; Morrison et al., 1990), además de adularia y calcita. El segundo evento, corresponde a un evento supérgeno, en el cual la ganga principal es cerusita, un mineral típico de zonas de oxidación de yacimientos ricos en plomo (Szczerba y Sawlowicz, 2009), y goethita.

Los carbonatos primarios corresponden a calcita y ankerita, mientras que los secundarios son siderita y cerusita, evidenciando un aumento de hierro en el sistema. Este enriquecimiento en hierro puede deberse a cambios en la fuente o, lo más probable, a la oxidación de las piritas.

5.3 Mineralización

En cuanto a la mineralización (Figura 45), el evento hipógeno se caracteriza por calcopirita, pirita, esfalerita y galena, con cantidades menores de acantita. Mientras que el evento de oxidación se caracteriza por motramita, coronadita, malaquita y plancheíta. En las etapas tempranas de este evento ocurre un enriquecimiento en cobre, formando calcosina y digenita.

		Evento Hipógeno			Evento Supérgeno		
Mineral		Temprano	Medio	Tardío	Temprano	Medio	Tardío
Minerales de Ganga	Calcedonia	—————	-----				
	Cuarzo Jigsaw	-----	—————				
	Cuarzo Comb		-----	—————			
	Cuarzo Plumoso			-----			
	Adularia	-----	—————				
	Calcita	—————					
	Ankerita		—————		-----		
	Siderita			-----	—————	-----	
	Cerussita				—————		
	Limonitas				—————		
	Celestina	-----					
Minerales de Mena	Calcopirita	—————					
	Pirita	—————		-----			
	Esfalerita	—————					
	Galena	—————					
	Acantita		-----	—————			
	Digenita			-----	—————		
	Calcosina			-----	—————		
	Electrum	—————		-----			
	Oro Nativo		-----	—————			
	Hematita				—————	-----	
	Mimetita				—————		
	Motramita				—————		
	Coronadita				-----	—————	
	Plancheita				—————	-----	
	Malaquita				-----	—————	
	Haluros de Ag					-----	-----

Figura 45: Secuencia paragenética de la veta Julia.

Existe una diferencia importante en la mineralización de cobre, ya que en la parte superior del depósito se encuentra asociado comúnmente a óxidos, mientras que en la parte inferior se encuentra asociado a sulfuros. En el sondaje AM092 hay más óxidos y mayores leyes de cobre, mientras que en el sondaje AM068 hay más sulfuros y menores leyes de cobre, por lo que es importante considerar en los modelos de leyes, como en los de ancho y ley, si la zona correspondiente al cuadrante C1 tiene leyes altas y la oxidación sería mayor o se ve muy afectada por los sondajes superiores. A priori, esa zona se ve muy afectada por los sondajes superiores y las leyes obtenidas no son de suficiente confianza para afirmar que el enriquecimiento hacia el sur sea más profundo. Se ahonda en esto en la sección 5.5 Modelos.

Según la mineralización observada, veta Julia se clasifica como un yacimiento epitermal de baja sulfuración (Camprubí y Tawn, 2003). Y su esquematización se observa en la Figura 46.

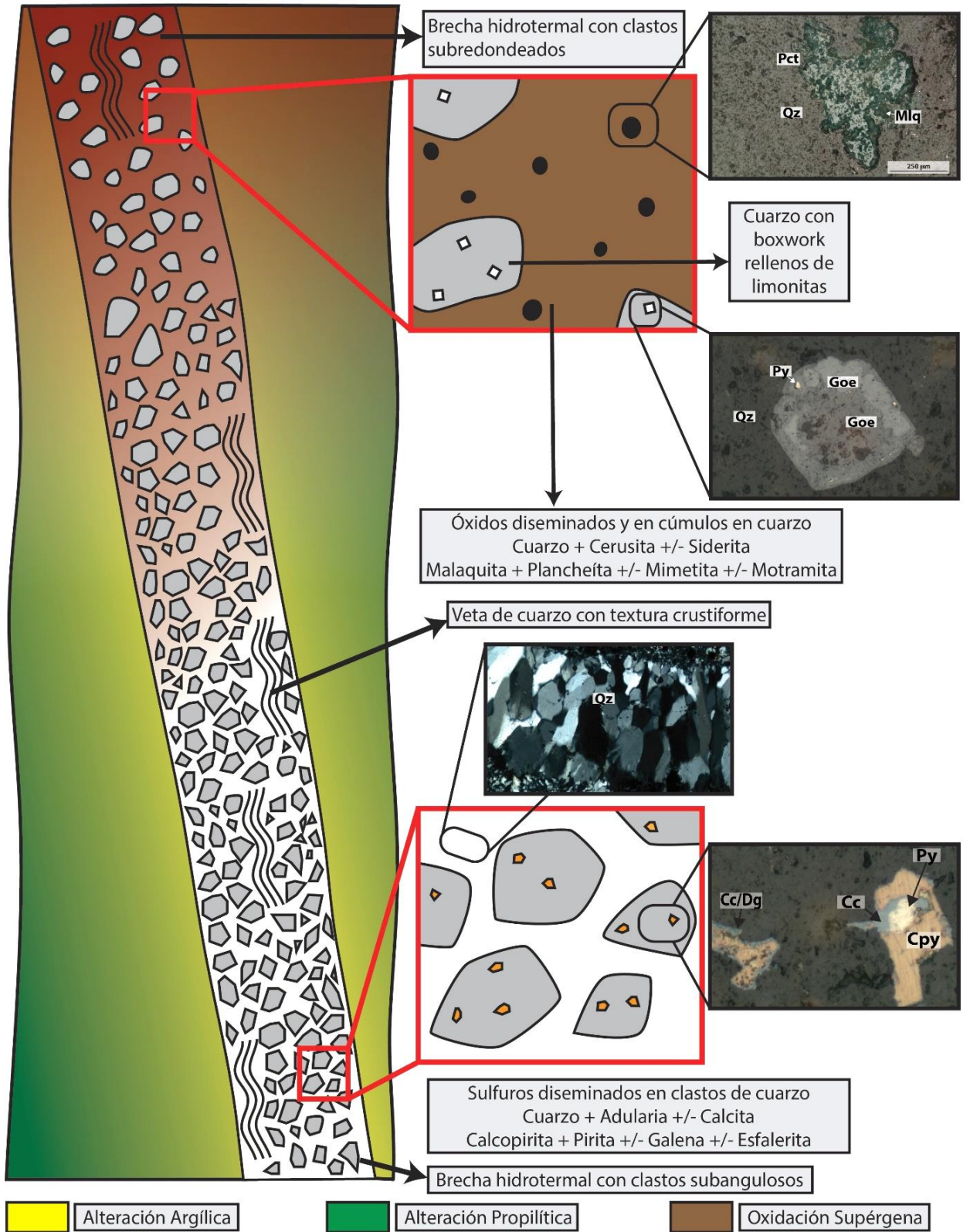


Figura 46: Esquematización de la veta Julia.

5.4 Implicancias metalúrgicas

En cuanto al oro, no se observan partículas importantes en sondajes profundos por lo que es necesario realizar análisis de menor escala para poder determinar cómo se encuentra el oro y cuánto sería refractario. En cuanto a los sondajes más someros, se observan partículas de oro que en su mayoría oscilan entre los 5 y 10 μm , sin embargo es posible encontrar partículas que alcanzan hasta los 50 μm . Estas partículas se encuentran libres en contacto con cerusita y cuarzo. No se encontró oro encapsulado en sulfuros en las zonas someras.

Es importante considerar la presencia de vanadio y arsénico. En las partes someras el arsénico y el vanadio se encuentran asociados a óxidos que podrían presentar un problema en la obtención del oro. Mientras que en profundidad el arsénico se encuentra asociado a pirita en contenidos menores y traza, y el vanadio no se encontró asociado a ningún mineral, pero no se descarta que pueda estar presente a nivel traza en algún mineral del evento hipógeno (e.g. pirita).

5.5 Modelos

Los modelos fueron realizados con el método de interpolación RBF mediante el software Leapfrog GEO. Este método fue utilizado en vez de Kriging, debido a que el espaciamiento de los datos es mayor al alcance de los variogramas. Estudios recientes muestran que la variación de los resultados obtenidos con RBF y Kriging ordinario es virtualmente indistinguible en estos casos (Stewart et al., 2014). Por lo tanto, los resultados obtenidos pueden considerarse válidos, en cuanto al método utilizado.

Como se mencionó anteriormente (sección 5.3 Mineralización), existen zonas donde la cantidad de datos es muy baja, por lo que se ven afectadas por datos muy lejanos y pueden no ser suficientemente representativas. Utilizando la varianza de los datos se clasifican los cuadrantes según el nivel de confianza de los datos obtenidos según la Tabla 6, donde los niveles medios y altos pueden clasificarse como recursos indicados y los niveles bajo y muy bajo como recursos inferidos. Esta clasificación se hace en base a que la información geológica disponible, que junto a la malla de sondajes de exploración no son suficientes para reportar recursos medidos (JORC, 2012).

Tabla 6: Nivel de confianza en la estimación según cuadrantes.

	1	2	3	4	5
B	Media	Alta	Baja	Media	Baja
C	Muy Baja	Alta	Alta	Alta	Media

Considerando lo anterior se categorizaron los bloques y se calcularon las onzas de plata y oro para los distintos tipos de recursos (Tabla 7). Para reportar las onzas se consideró nuevamente una ley de corte de 1,5 g/t.

Tabla 7: Celdas, volúmenes y tonelajes de veta, y onzas de oro y plata según recursos inferidos, indicados y medidos.

	Celdas	Volumen	Ton	Oz Au	Oz Ag
Inferido	26284	19713	51254	3597	8326
Indicado	111119	83339	216682	23003	66707
Medido	0	0	0	0	0

5.6 Implicancias en la exploración

La textura “*comb*” es más común como cemento de la brecha hidrotermal, correspondiendo a fases tardías del evento hipógeno, mientras que las texturas crustiforme, “*jigsaw*” y plumosa se encuentran mayormente en los clastos, los que pertenecerían a las fases tempranas.

El cuarzo cristalino de la textura “*comb*” tiene una génesis más profunda (Morrison et al., 1990), por lo que es posible que en las fases más tardías del evento hipógeno el nivel de ebullición haya estado en una zona superior, así como también es posible que no se haya generado la ebullición.

Las texturas crustiforme, “*jigsaw*” y plumosa son consideradas texturas de ebullición (Dong et al., 1995; Sander y Black, 1988; Moncada et al., 2012), por lo que es posible constreñir éste nivel, al menos en las fases tempranas del evento hipógeno, a la zona estudiada o a un nivel ligeramente más profundo, ya que los clastos son angulosos en profundidad y no habrían sufrido un transporte importante.

La veta no posee leyes de Au y Ag muy altas en profundidad, por lo que no se espera que los clavos mineralizados profundos sean demasiado atractivos. Además la presencia de sulfuros en profundidad presenta un factor negativo para la concentración de Au. De esta manera, la zona de mayor interés es la zona de oxidación en donde se observó la mayor cantidad de oro libre o asociado a hidróxidos y óxidos de hierro. Esto es coincidente con lo propuesto por Corbett (2005) para ésta veta.

Finalmente, es importante destacar que el sistema presenta una cantidad importante de plomo y zinc en la forma de galena, esfalerita y cerussita, siendo el plomo muy importante en superficie. Actualmente no se cuenta con leyes de Pb y Zn en los sondeos realizados en la veta, pero claramente su explotación no es económicamente rentable, sin embargo, con los resultados obtenidos en este estudio se puede afirmar que el plomo podría constituir un buen indicador en la exploración. De igual forma, si se considera que el aporte de vanadio al sistema puede ser generado por las aguas meteóricas que ingresan al sistema, el vanadio también podría constituir un buen indicador en la exploración, ya que aumentaría en las cercanías de la veta.

5.7 Comparación con veta Central

Existen diferencias y similitudes entre veta Julia y veta Central. Primeramente la mineralogía de veta Julia es similar a la reconocida por López et al. (2017) para veta Central, esto es cuarzo y carbonatos como la ganga principal, y una mineralización compuesta por oro nativo,

calcopirita, pirita, galena y esfalerita. A diferencia de veta Central, no se reconoció plata nativa ni abundantes sulfosales de plata, pero si se reconocieron arseniatos, como mimetita, los cuales no han sido descritos en la veta Central. Además, se reconocieron vanadatos (motramita), los que también han sido reconocidos en veta Central en informes internos realizados por el centro de estudios mineralógicos de la compañía Geoatacama.

Las leyes de Ag en Julia son mucho menores que en veta Central, la que en promedio tiene 80,7 ppm Ag, lo que coincide con la presencia de una variada mineralogía de Ag en esta última, mientras que veta Julia tiene en promedio 5,7 ppm Ag. En ambas vetas el Au se encuentra casi en su totalidad como oro nativo y muy pocas veces como electrum. El evento que genera el electrum y los haluros de plata, reconocido en veta Central (López et al., 2017), se encuentra muy poco desarrollado en veta Julia.

Una de las principales diferencias entre ambas vetas es la orientación de las fallas donde se emplazan. Veta Central se encuentra mayormente NE-SO, mientras que veta Julia se emplaza N-S, siguiendo la orientación de las estructuras regionales en la zona, lo que sugiere una posible mayor actividad sísmica que explicaría la brechización de la veta. Esta actividad sismo-tectónica puede tener un efecto importante en los procesos epitermales, generando diferencias entre las vetas (Buchanan, 1981).

Ambas vetas pueden ser parte de un mismo sistema hidrotermal, pero claramente han experimentado distintos procesos. Es posible que veta Julia esté expuesta en un nivel más profundo en comparación a veta Central, por lo que los niveles ricos en plata hayan sido erosionados. Así como también es posible que hayan sido afectadas de distinta forma por el evento supérgeno, sufriendo una removilización de elementos diferenciada. De cualquier forma se requieren estudios de detalle para comprobar que tienen el mismo origen hidrotermal y como han sido afectadas por la tectónica de la zona.

6 Conclusiones

La veta Julia es un prospecto de Au ubicado en el distrito Amancaya, Región de Antofagasta. Dentro de este distrito se han reconocido varias vetas mineralizadas tales como veta Central, actualmente en explotación, y veta Julia, la cual es el foco de este estudio.

La veta Julia es un depósito epitermal donde dominan los procesos ligados a baja sulfuración (Corbett y Leach, 1998) al igual que en veta Central, pudiendo existir eventos con mineralogía afín a intermedia sulfuración (Hedenquist et al., 2000). Se propone que ambas vetas pertenecen al mismo sistema hidrotermal, sin embargo presenta controles estructurales distintos. Por una parte veta Julia tiene una orientación N-S, mientras que veta central presenta orientación NNE-SSO, y los eventos tectónicos no habrían afectado de la misma manera a ambas vetas.

En veta Julia se reconocen dos eventos de mineralización/alteración. Un primer evento hipógeno que se caracteriza por la presencia de sulfuros de cobre, plomo y zinc diseminados principalmente en cuarzo con texturas de recristalización. El segundo evento es supérgeno y se caracteriza por la oxidación de los sulfuros generando limonitas, cerusita y óxidos de cobre, además de arseniatos y vanadatos.

La alteración hidrotermal en ambas vetas es muy similar, con la presencia de una alteración propilítica con clorita, epidota, calcita en posición distal y alteración argílica probablemente intermedia en las cercanías de la veta. La mineralización por su parte es de Au-Ag-Cu, representada principalmente por oro nativo, electrum, sulfuros de cobre y óxidos de cobre.

Las partículas de oro encontradas corresponden principalmente a oro nativo de entre 5 y 10 μm las que se encuentran asociadas a carbonatos y cuarzo, aunque las partículas de mayor tamaño, hasta 50 μm , corresponden a electrum con un 75% de oro y un 25% de plata, que presenta inclusiones de oro nativo. La mayor parte se encuentra libre u ocluido en carbonatos que rellenan espacios, pero no se encontró oro encapsulado en sulfuros, lo que no se descarta que ocurra en profundidad. La plata se encuentra mayormente en electrum y ocasionales haluros de plata, como clorargirita, bromargirita o yodargirita, asociado a minerales secundarios, mientras que en profundidad se encuentran cantidades muy bajas de acantita.

Debido a la presencia de arsénico y vanadio en la zona de oxidación, se recomienda realizar pruebas metalúrgicas y considerar la presencia de motramita y mimetita al momento de definir los reactivos y condiciones apropiadas de recuperación de Au. .

Desde un punto de vista de la exploración, el nivel de ebullición es posible constreñirlo a la zona estudiada, o una zona levemente más profunda, para las etapas tempranas del evento hipógeno, pero es necesario realizar otros estudios (e.g. inclusiones fluidas) para constreñir el nivel

de ebullición en las etapas tardías. Se propone la realización de sondajes que intersecten la veta en los cuadrantes C1, B3 y B5 para poder dar mayor confianza a la estimación y disminuir la cantidad de recursos inferidos. Además se recomienda realizar algunos sondajes profundos para poder caracterizar mejor la veta bajo los clavos mineralizados de los cuadrantes C3 y C5.

Dado que las zonas de mayor interés se encuentran en superficie afectadas por el evento de oxidación, la principal recomendación es continuar caracterizando la veta hacia el norte y hacia el sur. Veta Nueva se encuentra en el bloque norte del distrito y coincide exactamente con la proyección de veta Julia hacia el norte. Se propone que veta Nueva podría ser la continuación de veta Julia, y que podría estar expuesta en un nivel diferente, por lo que las leyes encontradas no han sido similares a las que se encuentran en Julia. De igual forma, se desconoce hasta donde llegaría la extensión de veta Julia expuesta al nivel que presenta oxidación supérgena.

Finalmente, se realizaron modelos de litología y leyes, además de un modelo de bloques, mediante el cual se reportan 26600 onzas de oro y 75033 onzas de plata, de las cuales 23003 Oz Au y 66707 Oz Ag son recursos indicados, mientras que 3597 Oz Au y 8326 Oz Ag son recursos inferidos.

Bibliografía

Ascher, U., Ruuth, S., Spiteri, R. 1997. Implicit-Explicit Runge-Kutta Methods for Time-Dependent Partial Differential Equations, *Appl Numer Math*, vol. 25.

Arabasz, W. 1971. Geological and geophysical studies of the Atacama fault zone in northern Chile: Unpublished. PhD. thesis. California Institute of Technology, Pasadena, USA.

Broomhead, D., Lowe, D. 1988. Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks. *Complex Systems 2*: 321–355.

Buchanan, L.J. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest: *Arizona Geological Society Digest*, v. 14, p. 237–262.

Campos-Quispe, L., Navarro-Ciurana, D., Cardellach, E., Gómez-Gras, D., Griera, A., Catena, E., Daniele, L., Corbella, M. 2014. Caracterización Mineralógica de las "Calaminas" Asociadas al Yacimiento de Tipo MVT de Riópar en la Cuenca Bética Mesozoica (SE España).

Camprubí, A., González-Partida, E., Levresse, G., Tritlla, J., Carrillo-Chávez, A. 2003. Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: Una tabla comparativa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, ISSN 0366-1784, Tomo 56, N°. 1, 2003, pags. 10-18. 10.18268/BSGM2003v56n1a2.

Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M.P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En Moreno, T. y Gibbons, W. (eds.) *The Geology of Chile*, The Geological Society: 21-114, Londres.

Chong, G. 1973. Reconocimiento Geológico del área Catalina-Sierra de Varas y estratigrafía del Jurásico del Profeta, provincia de Antofagasta. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología: 284 p. Santiago.

Cooke, D., F. Simmons, S. 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*. 13. 221-244.

Corbett, G., 2005. Comments Mineral Exploration in The El Peñon Mine Area, Amancaya And Flor De Chile Projects, Northern Chile. 24 pp.

Corbett, G., and Leach, T. 1998, Southwest Pacific Rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization: *Society of Economic Geologists Special Publication 6*, 236 p.

Dong G., Morrison G., Jaireth S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland-Classification, origin and implication. *Econ. Geol.*, vol. 90, 1841-1856.

- Dong, G., Morrison, G. 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Mineralium Deposita*, 30:11-19
- Espinoza, F., Matthews, S., Cornejo, P., Venegas, C. 2011. Carta Catalina, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Fournier, R.O. 1985. The behavior of silica in hydrothermal solutions: *Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 45–61.
- Gaines, R., H. Skinner, C; Foord, E., Mason, B., and Rosenzweig, A., with sections by Vandall T. King, Illustrations by Eric Dowty. 1997. *Dana's New Mineralogy*, John Wiley & Sons, Inc
- Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, in *Transactions of the 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore, 1986, Oklahoma, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1-26.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. Jr., Gonzalez-Urien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 245–277.
- JORC. 2012. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code) [online]. Available from: (The Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia).
- López, P., Páez, G., Guido, D., Permuy, C., Heit, F. 2017. Mineralización auroargentífera en el depósito epitermal del distrito Amancaya, II región, Chile. *XX Congreso Geológico Argentino*. 6 pp.
- Maksaev, V. 2001. Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis andina. Apuntes curso GL54A Metalogénesis (Unpublished). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Matthews, S., Espinoza, F., Cornejo, P., Venegas, C. 2010. Carta Altamira, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., J. Reynolds, T., D. Rimstidt, J., Bodnar, R. 2012. Characteristics and Distribution of Mineral Textures and Fluid Inclusions in the Epithermal Ag-Au Deposits at Guanajuato, Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*. 114. 20-35. 10.1016/j.gexplo.2011.12.001.
- Morisson, G., Guoyi, D., and Jareith, S. 1990. Textural Zoning in Epithermal Quartz Vein, Amira Project P247, Gold Research Group, James Cook University of North Queensland, p. 33
- Páez, G., Permuy, C., Guido, D. 2016. Informe: Mapeo Geológico y de Mineralizaciones, Distrito Amancaya, Antofagasta, Chile. 42 pp.
- Sander, M., Black, J. 1988. Crystallization and recrystallization of growth-zoned vein quartz crystals from epithermal systems-implications for fluidinclusion studies. *Econ. Geol.*, vol. 83, 1052-1060.

SERNAGEOMIN. 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago, Chile.

Shenberger, D. M., Barnes, H. L. 1989. Solubility of gold in aqueous sulfide solutions from 150 to 350°C, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 53, Issue 2, Pages 269-278, ISSN 0016-7037.

Sillitoe, R. 1993. Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. In: Kirkham RV, Sinclair WD, Thorpe RI, Duke JM (eds) *Mineral deposit modelling*. Geol Assoc Can Spec Pap 40:403–417

Stewart, M., de Lacey, J. Hodkewicz, P. F., Lane, R. 2014. Grade Estimation from Radial Basis Functions – How does it compare with Conventional Geostatistical Estimation? *Proceedings of the Ninth International Mine Geology Conference (The AusIMM: Melbourne)*, pp. 129-142.

Szczerba, M. and Sawlowicz, Z. 2009. Origin of cerussite in the Upper Silesian Zn-Pb deposits, Poland. *Mineralogia*.

Ulriksen, C. 1979. Regional geology, geochronology and metallogeny of the Coastal Cordillera of Chile between 25°30' and 26°00' south. Master Science Thesis, Dalhousie University, 221 p., Canada.

Anexos

Anexo 1: Descripciones microscópicas

Muestra N°1	Coordenadas		Altura
	417870 E	7171366 N	1899 m
Nombre roca	Pozo		Profundidad
Brecha hidrotermal de cuarzo	AM-068		155.6 m



Observaciones macroscópicas
Veta de cuarzo brechizada. Presenta cuarzo bandeado con textura crustiforme, bandas de colores blanco, verde y traslúcidas. Se observan sulfuros, sobre todo pirita, calcopirita y galena, en algunas bandas. Presenta óxidos de Cu, asociados al cuarzo bandeado coliforme, pero poco abundante. También tiene óxidos de Fe, limonitas y hematita silicificada que afectan toda la roca. Se observan vetas de limonitas cortando a vetas de hematita-sílice. Además presenta oquedades rellenas por arcillas y algunos carbonatos.

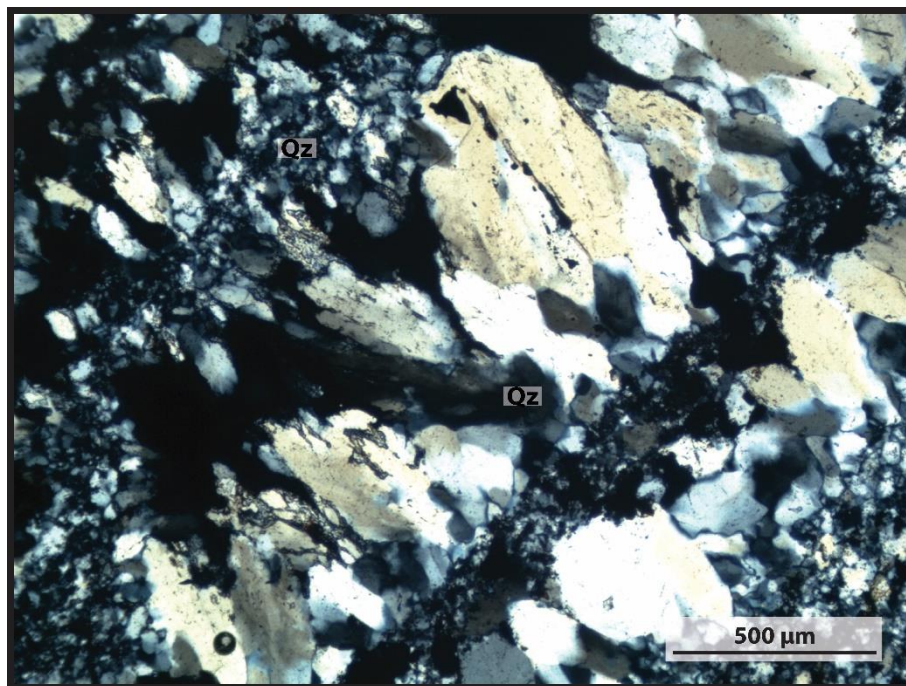
A continuación se describen 4 cortes obtenidos de esta muestra.

Muestra N°	1
Corte N°	1

Código	AM68a
--------	-------

Observaciones microscópicas

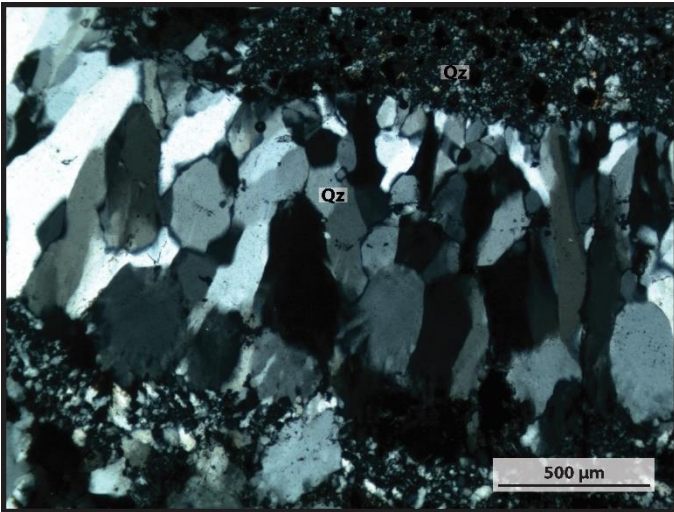
El corte presenta una estructura bandeada, con bandas bien definidas, sinuosas y con granulometría diferente. Tiene una textura crustiforme con bandas de textura comb, otras y otras de cuarzo cristalino de mayor tamaño en los que se observa textura plumosa. Los minerales opacos ocurren de forma diseminada y se asocian en su mayoría a cuarzo con textura jigsaw. Además, el corte presenta poco carbonato y pocas evidencias de brechización.



Estructuras

Presenta oquedades mayormente asociadas a cuarzo con textura comb y a cuarzo cristalino de mayor tamaño. En parte rellenas de arcillas o carbonatos. Las oquedades representan un 7% de la muestra.

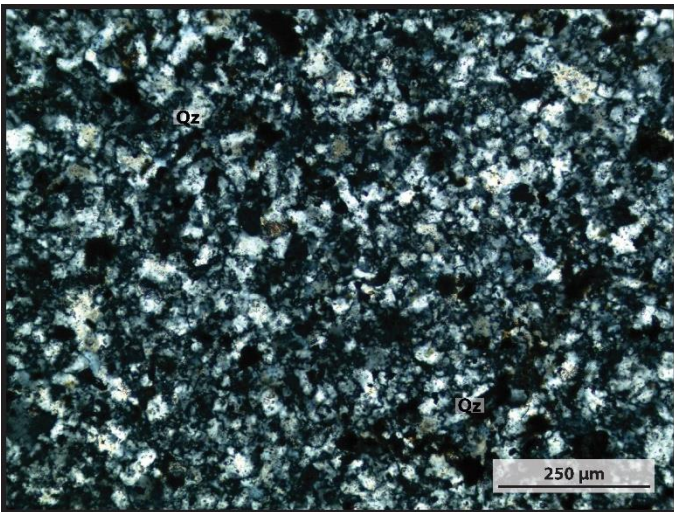
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica corresponde al 12% de la muestra y se presenta diseminada en las bandas de cuarzo.		
Sulfuros	%	Características
Pirita	3	Cristales con forma anhedral, con un tamaño promedio de 7 μm . Comúnmente intercrecido con calcopirita, calcosina o hematita.
Calcopirita	10	Cristales diseminados con forma subhedral y tamaño promedio de 30 μm . Poseen bordes de calcosina o digenita.
Calcosina	6	Aparece rodeando a cristales de calcopirita, con la apariencia de sobrecrecimiento. En ocasiones se observa intercrecida con pirita y calcopirita.
Digenita	1	Se observa en los bordes de calcopirita, intercrecida con calcosina.
Galena	12	Cristales anhedrales a subhedrales, con tamaños de 5 μm aunque algunos alcanzan los 25 μm . Suele aparecer junto a esfalerita.
Esfalerita	8	Cristales anhedrales de 10 μm , aunque pueden alcanzar los 40 μm . Se encuentran diseminados, asociados a galena.
Óxidos	%	Características
Hematita	8	Cristales anhedrales a subhedrales con tamaños cercanos a los 100 μm . Se presentan diseminados intercrecidos con magnetita.
Magnetita	3	Asociado a hematita, en mucho menor cantidad.
Limonitas	47	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral a euhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Malaquita	1	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Motramita	1	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Coronadita	Trz	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Mimetita	Trz	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Detalle de banda de cuarzo con textura comb, en contacto con bandas de textura jigsaw.

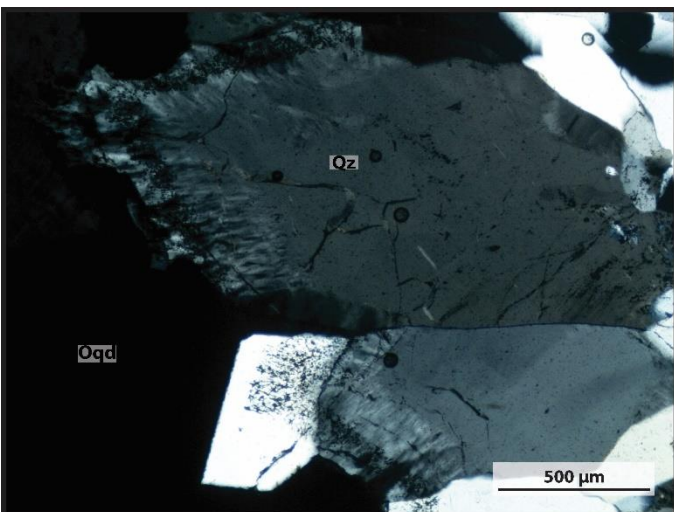
Luz transmitida. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°2:

Detalle de banda de cuarzo de grano fino con textura comb.

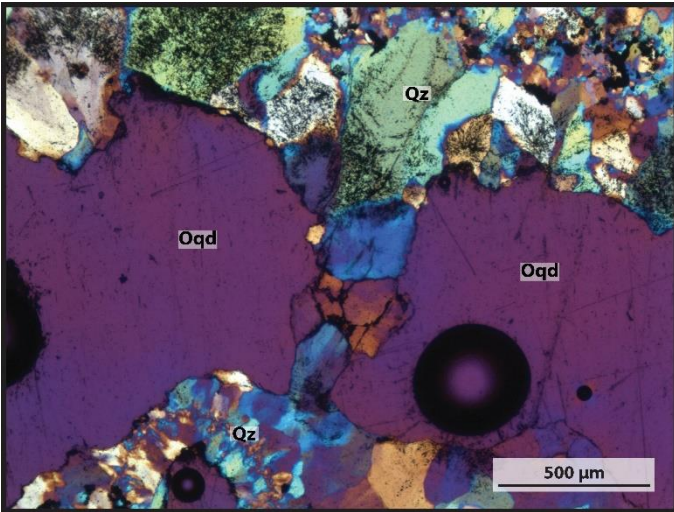
Luz transmitida. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°3:

Cristales de cuarzo con textura plumosa.

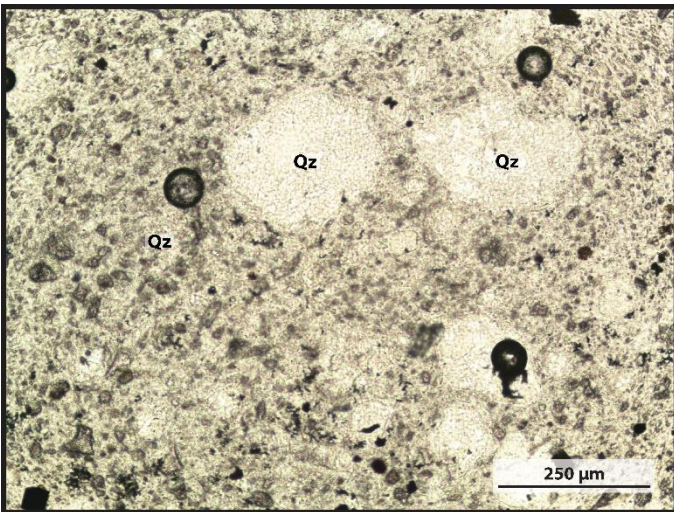
Luz transmitida. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°4:

Oquedades presentes en banda de cuarzo con textura comb.

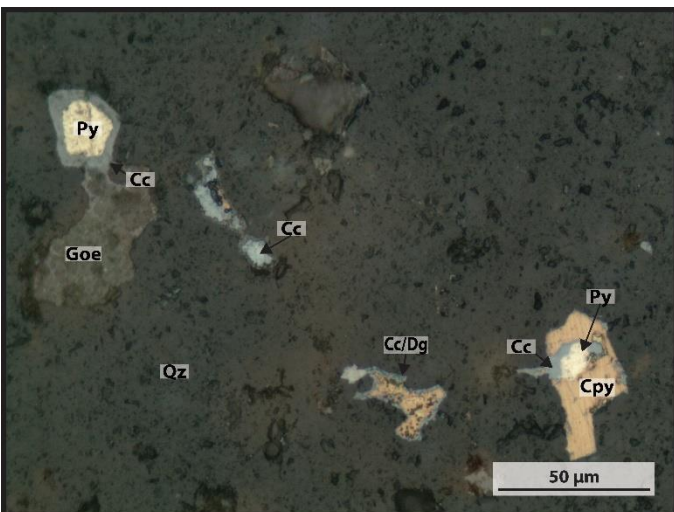
Luz transmitida. Nícoles cruzados con lámina de yeso.



Fotomicrografía N°5:

Clastos de cuarzo en banda con textura jigsaw.

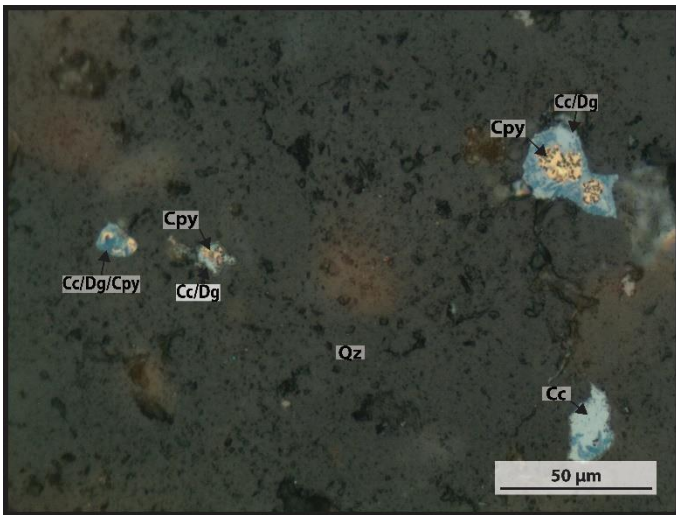
Luz transmitida. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°6:

Cristales de calcopirita y pirita con borde de calcosina/digenita.

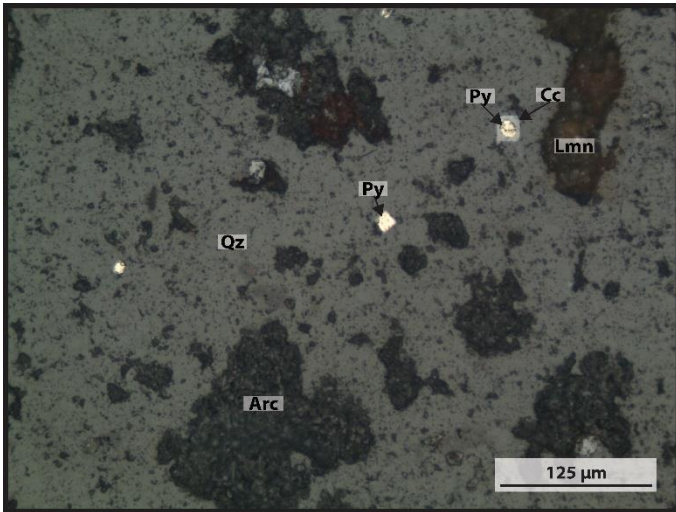
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°7:

Cristales de calcopirita con bordes de calcosina intercrecida con digenita.

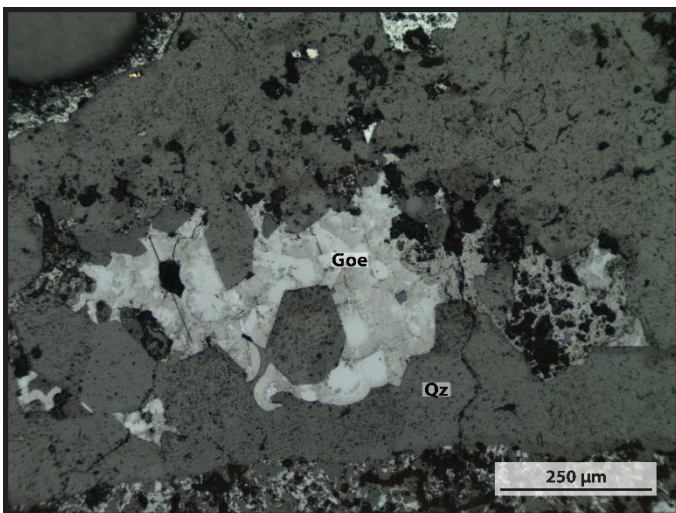
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°8:

Cristales de pirita (Py) con borde de calcosina (Cc).

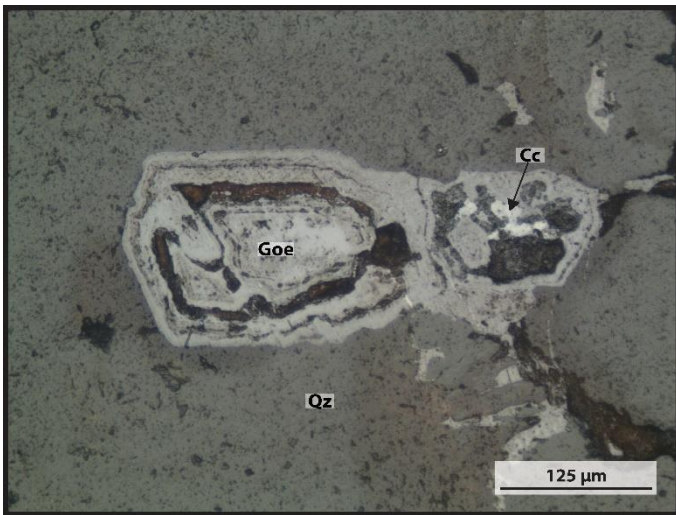
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°9:

Cristales de goethita en una oquedad presente en cuarzo con textura comb.

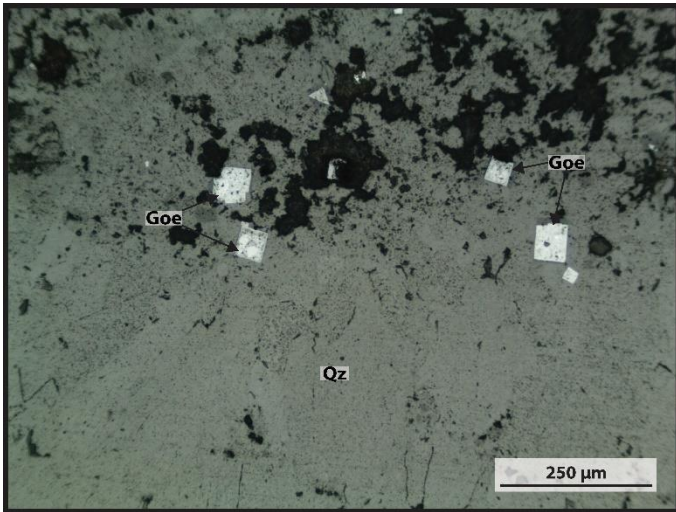
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°10:

Cristal de goethita reemplazando probablemente a pirita.

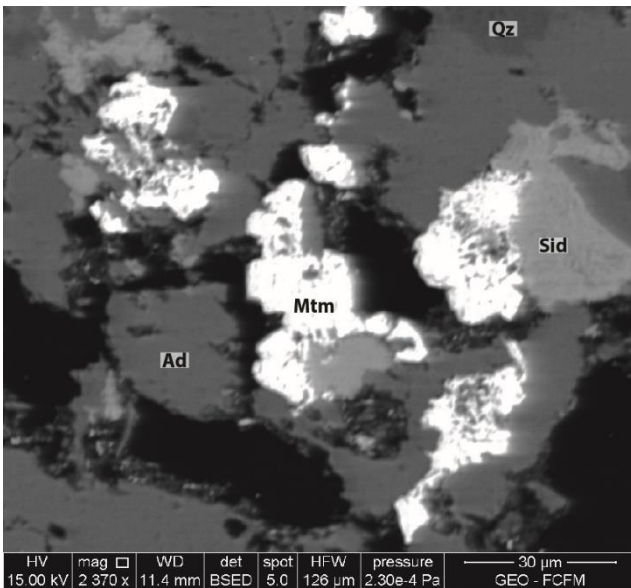
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°11:

Goethita reemplazando cristales cúbicos, probablemente de pirita.

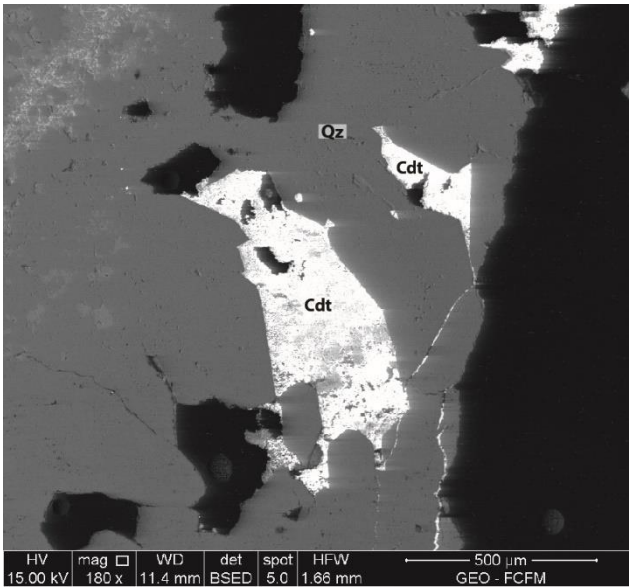
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°12:

Motramita (Mtm) y siderita (Sid) en cavidades generadas en adularia (Ad).

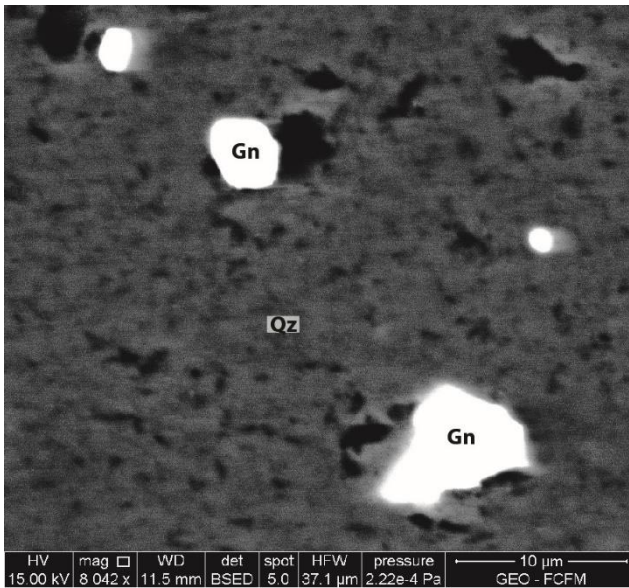
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°13:

Cristales de coronadita (Cdt) en cuarzo (Qz), relleno de espacios y en vetillas.

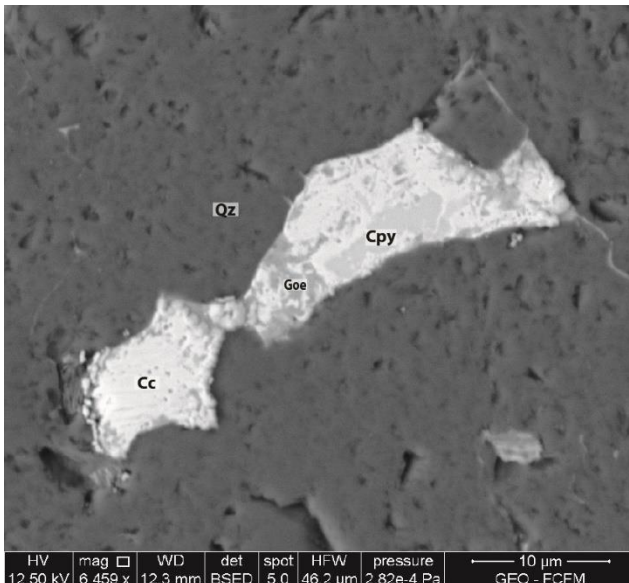
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°14:

Cristales de galena (Gn) diseminados en cuarzo (Qz) de textura jigsaw.

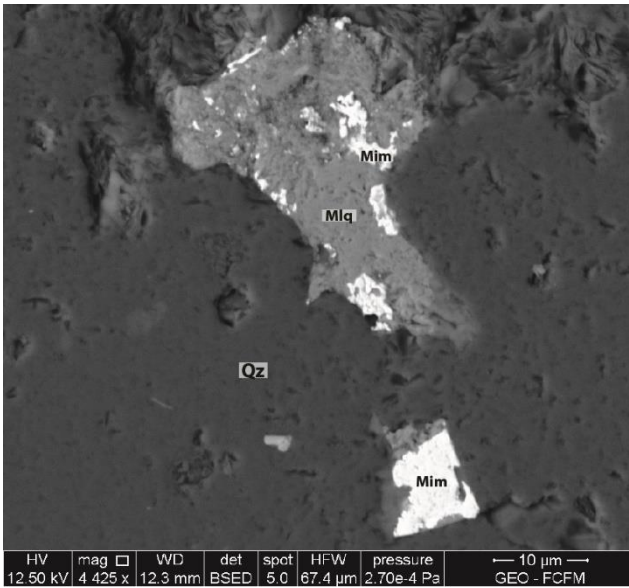
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°15:

Cristales de calcopirita (Cpy) y calcosina (Cc), siendo reemplazados por goethita (Goe).

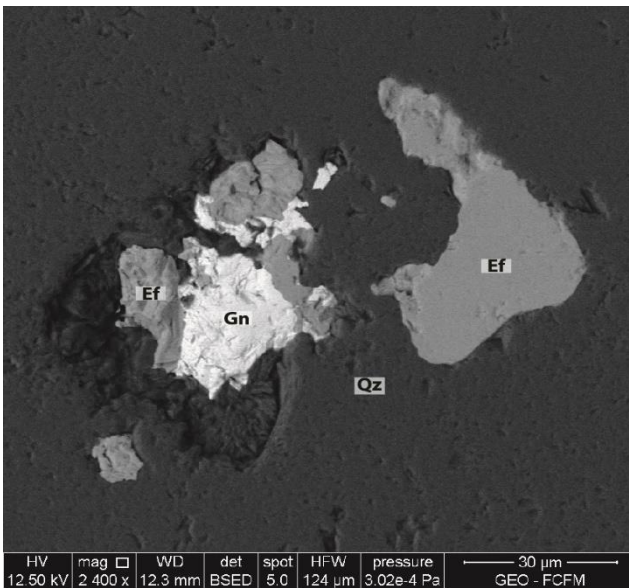
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°16:

Cristales de malaquita (Mlq) intercrecida con mimetita (Mim) en oquedades del cuarzo (Qz).

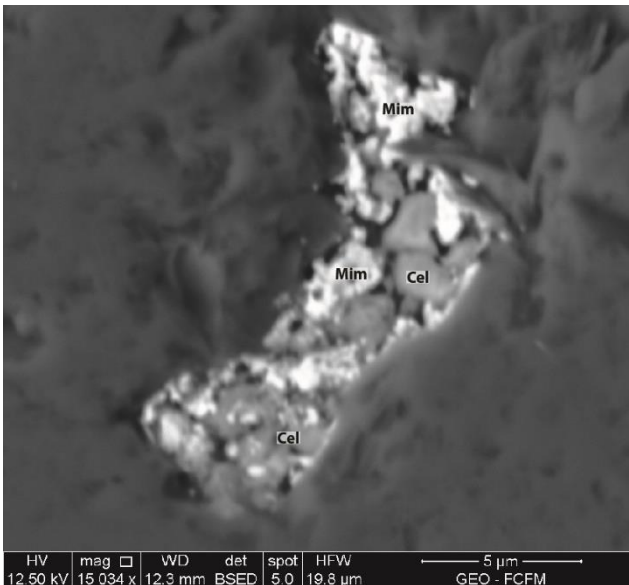
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°17:

Cristales de galena (Gn) y esfalerita (Ef) en cuarzo (Qz).

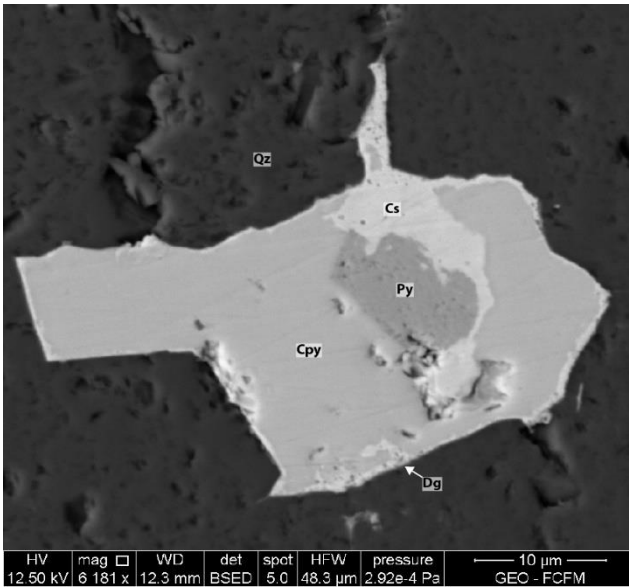
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°18:

Cristales de mimetita (Mim) junto a celestina (Cel), relleno una oquedad en cuarzo (Qz).

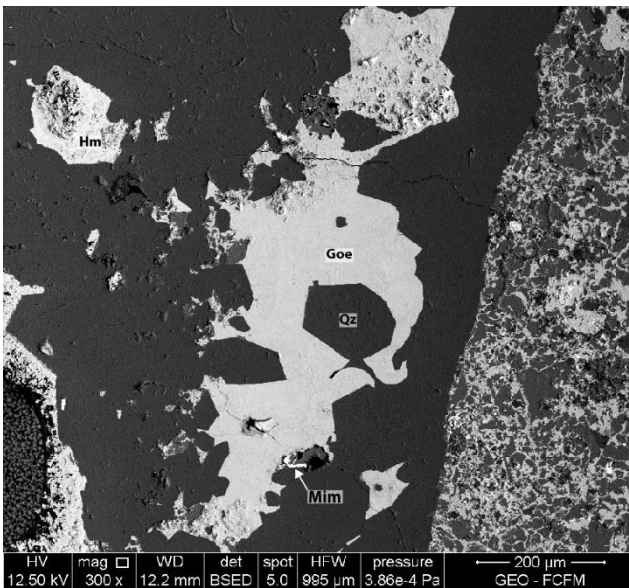
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°19:

Cristal de calcopirita (Cpy) con borde de calcosina (Cs) / digenita (Dg), con inclusiones de calcosina (Cs) y pirita (Py). Aparece en fotomicrografía N°6.

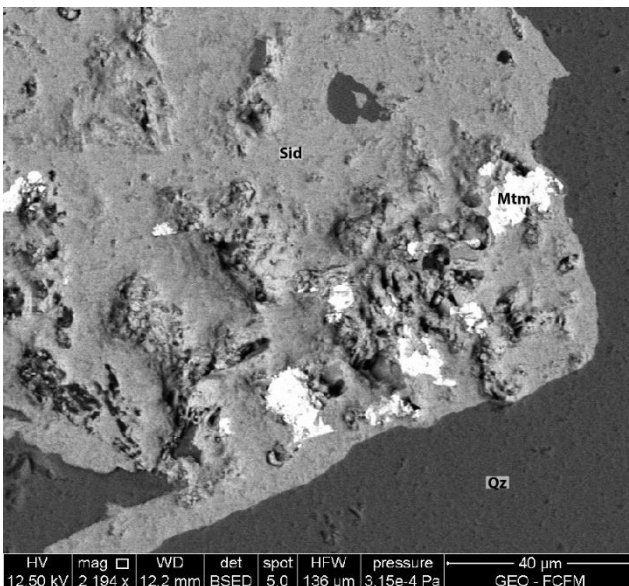
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°20:

Cristales de goethita (Goe) y hematita (Hm). Misma zona que fotomicrografía N°9.

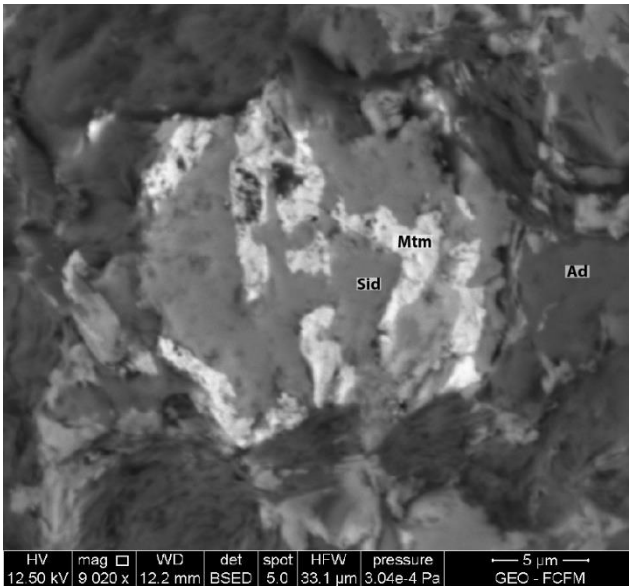
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°21:

Cristales de mottramita (Mtm) disseminados en siderita (Sid).

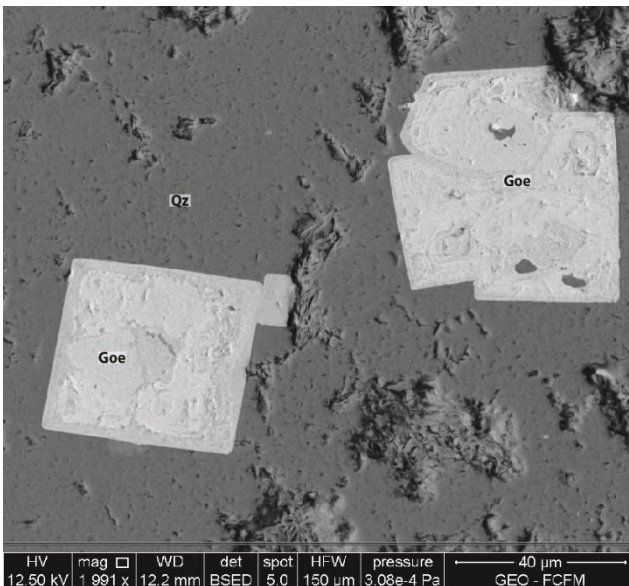
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°22:

Motramita (Mtm) intercrecida con siderita (Sid), en adularia (Ad).

Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°23:

Goethita (Goe) con hábito cúbico. Aparece en fotomicrografía N°11. Presenta zonaciones producto de un reemplazo gradual de pirita por goethita.

Imagen SEM – BSE.

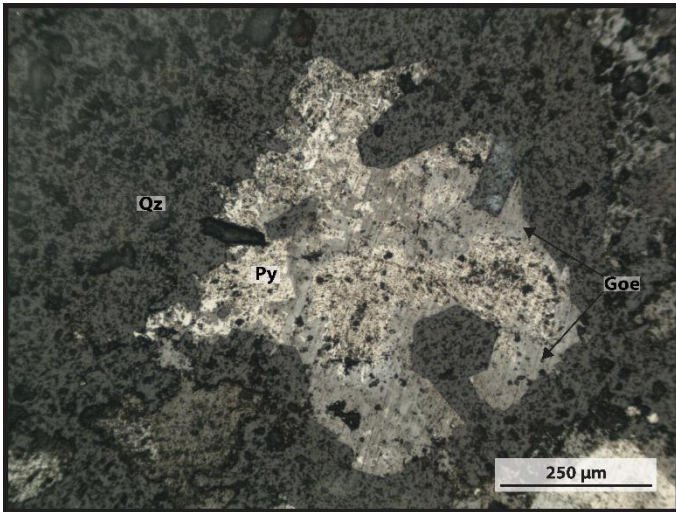
Muestra N°	1
Corte N°	2

Código	AM68 02-A
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
<p>El corte presenta estructura brechoza, es clasto soportado y polimíctico (con la gran parte de los clastos de mayor tamaño de composición similar). Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso. Tiene un 15% de cemento, 45% de clastos y 40% de matriz. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con textura jigsaw y comb. La matriz está compuesta por cuarzo con textura comb y el cemento mayormente por limonitas y goethita.</p>

Estructuras
<p>Presenta abundantes oquedades rellenas por limonitas y arcillas (en muy pocos casos también por carbonatos).</p>

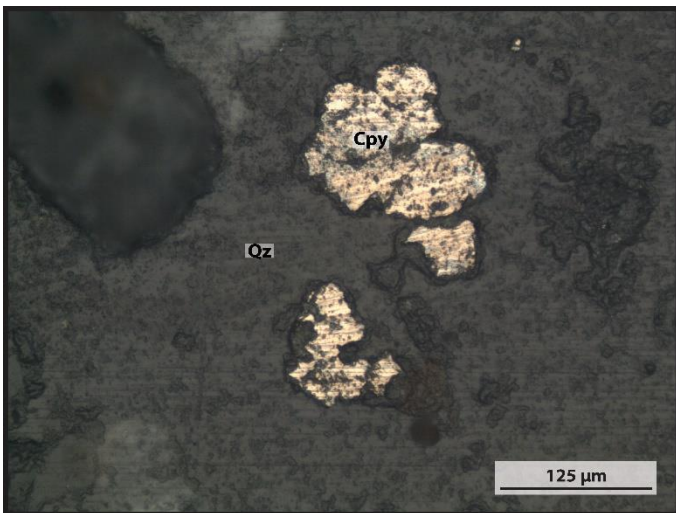
Mineralogía Metálica		
<p>La mineralogía metálica representa un 18% del corte y se presenta mayormente como sulfuros diseminados y cúmulos de óxidos.</p>		
Sulfuros	%	Características
Pirita	15	Cristales con forma anhedral, de hasta 300 μm . Casi en su totalidad reemplazada por goethita.
Calcopirita	10	Cristales diseminados con forma anhedral y tamaño promedio de 80 μm .
Óxidos	%	Características
Limonitas	65	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	10	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cristal de pirita (Py) con reemplazo de goethita (Goe), en cuarzo (Qz).

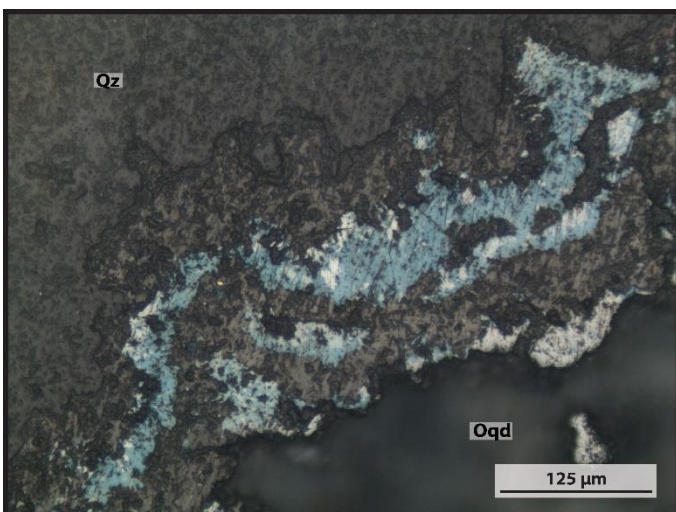
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristales anhedrales de calcopirita (Cpy) en cuarzo (Qz).

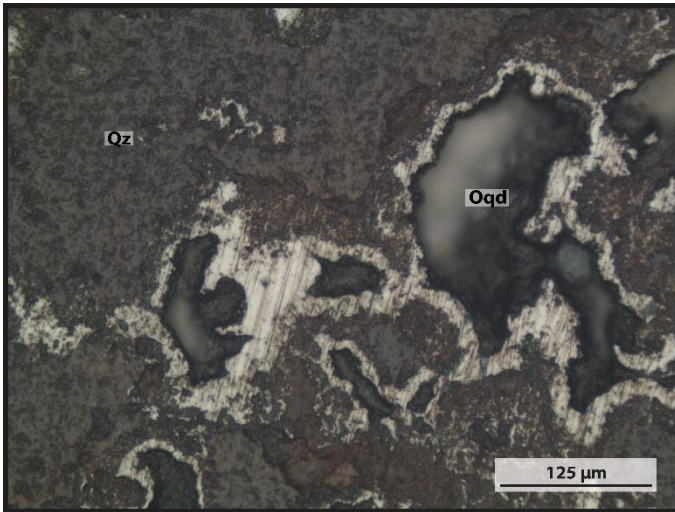
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Oquedad (Oqd) con relleno de arcillas, óxidos de zinc y plomo, en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Oquedad (Oqd) con relleno de arcillas, óxidos de zinc y plomo, en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

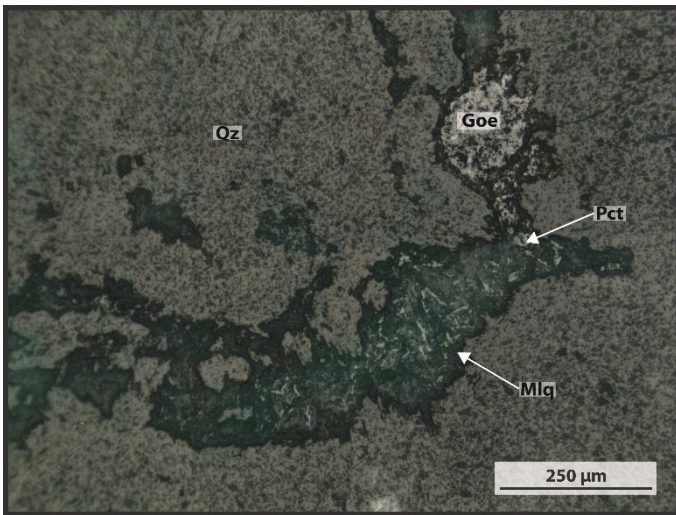
Muestra N°	1
Corte N°	3

Código	AM68 02-B
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta estructura brechoza, es matriz soportado y polimíctico. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso. Tiene un 20% de cemento, 35% de clastos y 45% de matriz. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con textura jigsaw y comb. La matriz está compuesta por cuarzo con textura comb y el cemento mayormente por limonitas y goethita.

Estructuras
Presenta abundantes oquedades rellenas por limonitas y algunas arcillas.

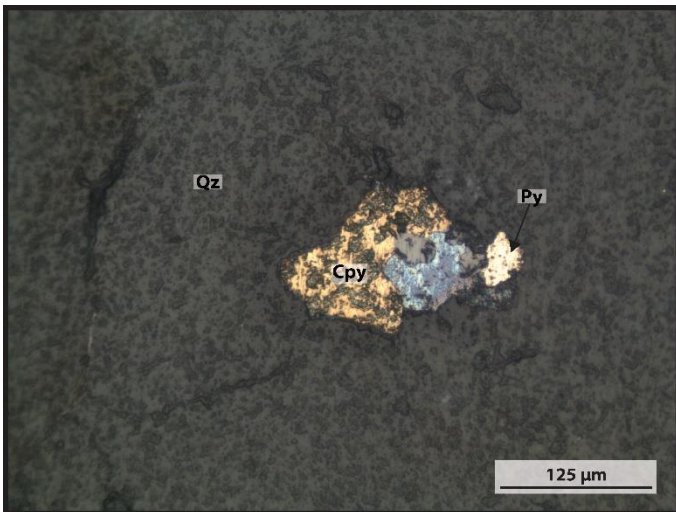
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica representa un 9% del corte y se presenta mayormente como sulfuros diseminados y cúmulos de óxidos.		
Sulfuros	%	Características
Calcopirita	12	Cristales con forma anhedral a subhedral, de hasta 100 µm. En ocasiones intercrecida con pirita.
Pirita	3	Cristales diseminados con forma anhedral y tamaño promedio de 30 µm.
Óxidos	%	Características
Limonitas	77	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Malaquita	5	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Planchéita	2	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Otros	1	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cristales de malaquita (Mlq) intercrecidos con plancheíta (Pct), junto a goethita (Goe), rellenando oquedades en cuarzo (Qz).

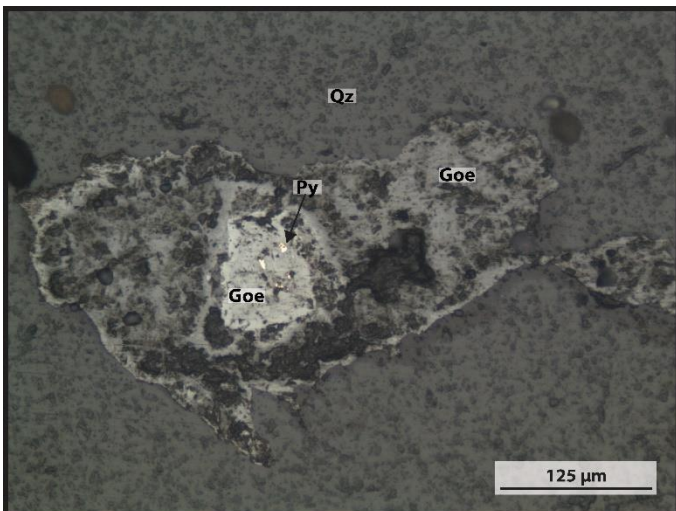
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristal de calcopirita (Cpy) intercrecido con pirita (Py), en cuarzo (Qz).

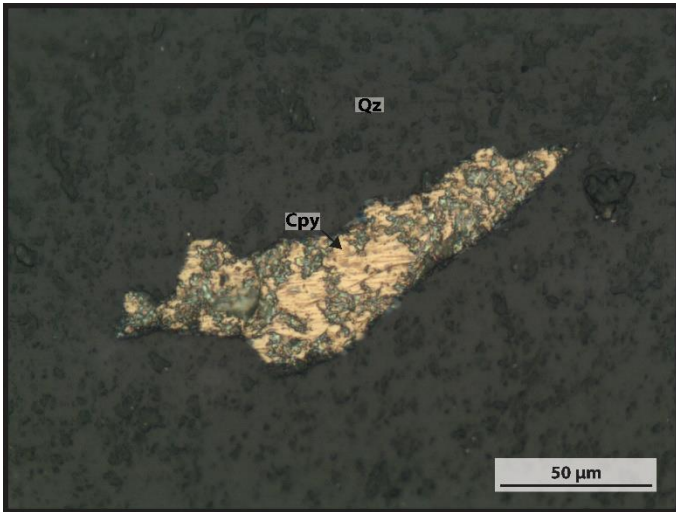
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Goethita (Goe) reemplazando pirita (Py) y rellenando espacios. Se observa una variación composicional, que puede deberse al contenido de plomo o zinc en trazas.

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Cristal de calcopirita (Cpy) anhedral en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

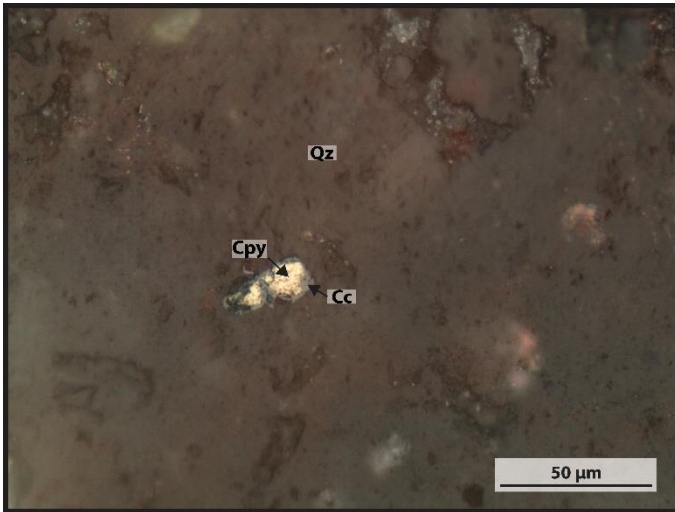
Muestra N°	1
Corte N°	4

Código	AM68 02-C
---------------	-----------

Observaciones macroscópicas
Veta de cuarzo brechizada. Presenta cuarzo bandeado con textura crustiforme, bandas de colores blanco, verde y traslúcidas. Se observan sulfuros, sobre todo pirita, calcopirita y galena, en algunas bandas. Presenta óxidos de Cu, asociados al cuarzo bandeado coloforme, pero poco abundante. También tiene óxidos de Fe, limonitas y hematita silicificada que afectan toda la roca. Se observan vetas de limonitas cortando a vetas de hematita-sílice. Además presenta oquedades rellenas por arcillas y algunos carbonatos.

Estructuras
Presenta abundantes oquedades rellenas de limonitas y calcita. Además presenta vetillas de cuarzo con textura comb.

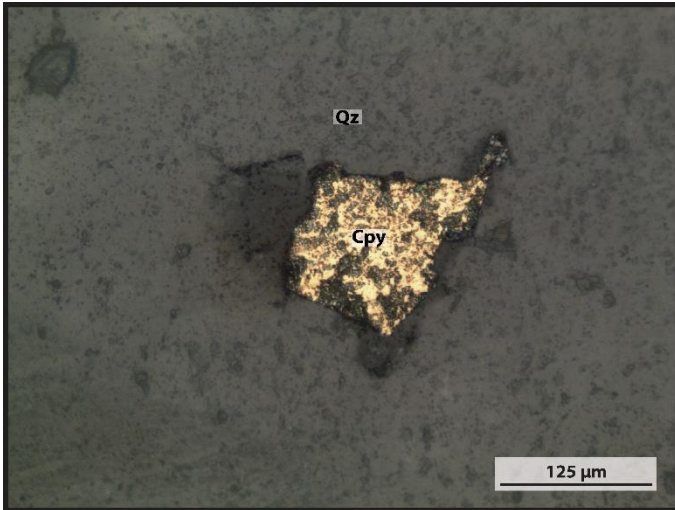
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica representa un 15% del corte y se presenta mayormente como sulfuros diseminados y cúmulos de óxidos.		
Sulfuros	%	Características
Calcopirita	12	Cristales con forma anhedral, de hasta 300 µm. Casi en su totalidad reemplazada por goethita.
Calcosina	2	Aparece rodeando a cristales de calcopirita, con la apariencia de sobrecrecimiento.
Pirita	6	Cristales con forma anhedral, de hasta 50 µm. Casi en su totalidad reemplazada por goethita.
Óxidos	%	Características
Limonitas	66	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	14	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cristal de calcopirita (Cpy) con borde de calcosina (Cc), en cuarzo (Qz) con oquedades rellenas por limonitas.

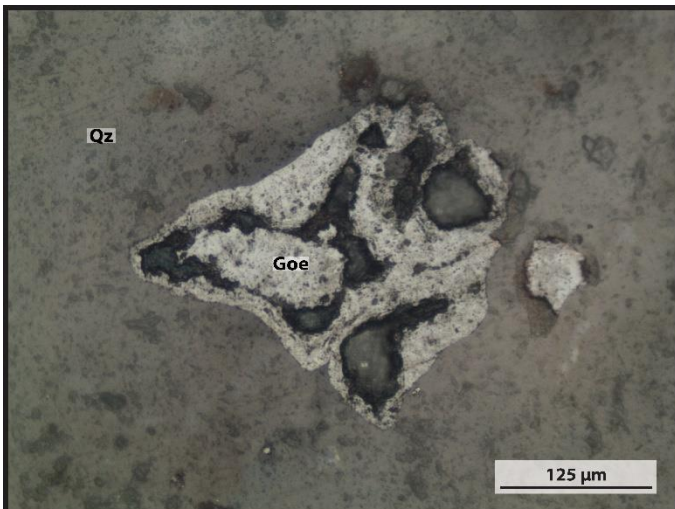
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristal de calcopirita (Cpy) subhedral en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

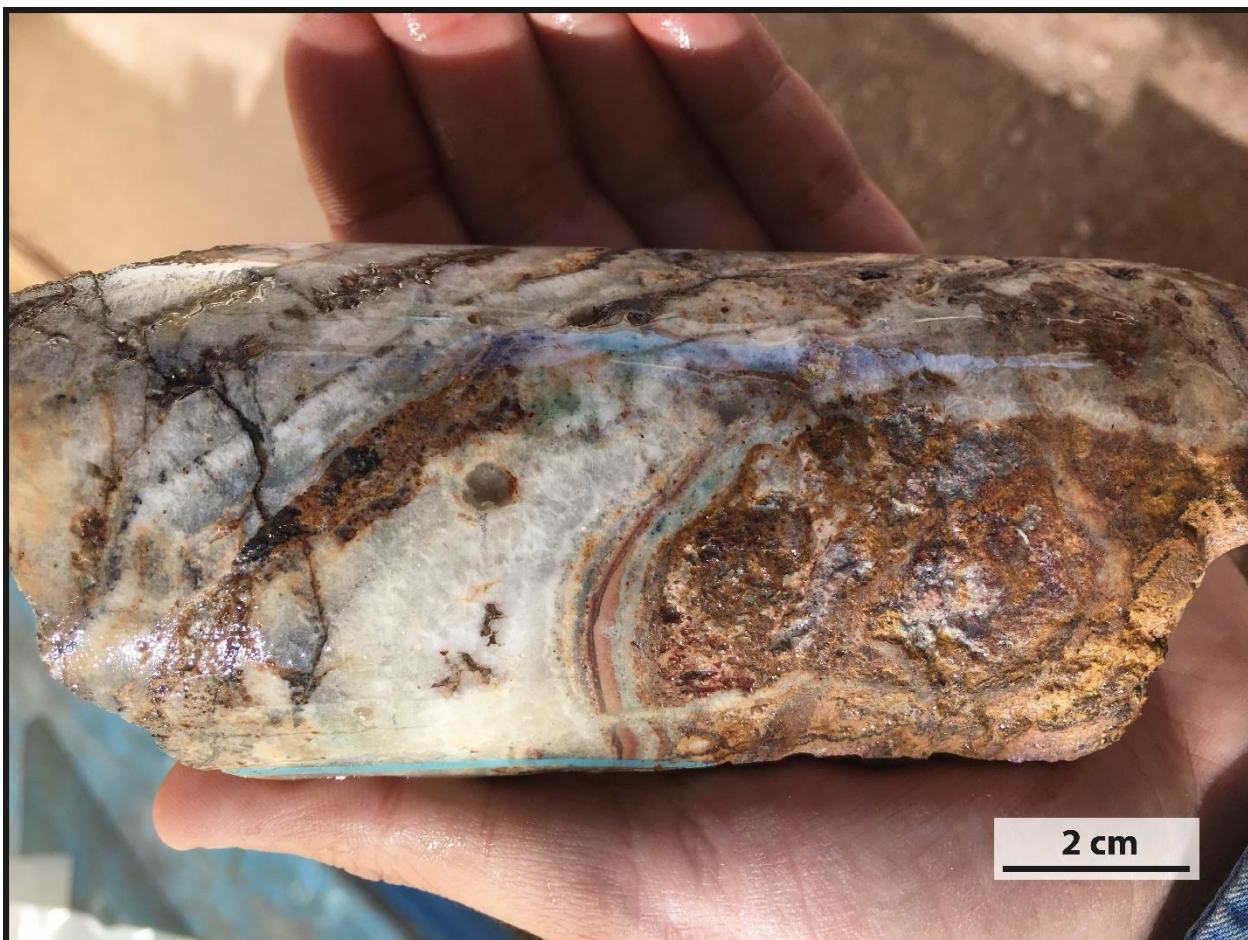
Goethita (Goe) relleno de espacios en cuarzo (Qz) o reemplazando un mineral previo.

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

Muestra N°2

Nombre roca
Brecha hidrotermal de cuarzo

Coordenadas		Altura
417840 E	7171341 N	1899 m
Pozo		Profundidad
AM-071		125.4 m

**Observaciones macroscópicas**

Veta de cuarzo brechizada. Presenta cuarzo bandeado con textura crustiforme, las bandas son de colores gris, rojo, rosado, blanco y verde. Además presenta cuarzo cristalino con gran cantidad de sulfuros. Tiene abundante goethita y limonitas. Los sulfuros se asocian principalmente al cuarzo con textura comb y se encuentran orientados formando vetillas. Presenta abundantes oquedades rellenas por arcillar, óxidos de hierro y carbonatos.

A continuación se describen 2 cortes obtenidos de esta muestra.

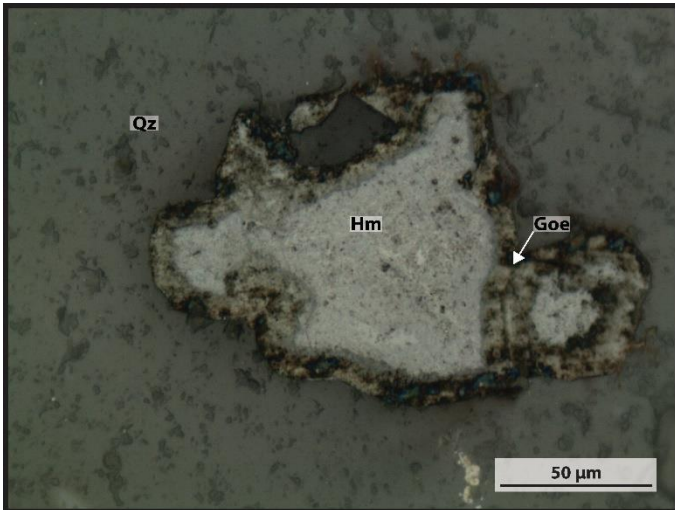
Muestra N°	2
Corte N°	1

Código	AM71 01-A
--------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura bandeada a masiva/homogénea, con bandas pobremente definidas. Predomina la textura comb y presenta cuarzo acicular radial, formando textura coloforme. Los minerales opácos ocurren de forma diseminada y se encuentran en su mayoría reemplazados por goethita. Además, el corte presenta muy pocas evidencias de brechización.

Estructuras
Presenta oquedades en cuarzo con textura comb. Además presenta oquedades alineadas formando una vetilla que ocasionalmente es rellenada por goethita.

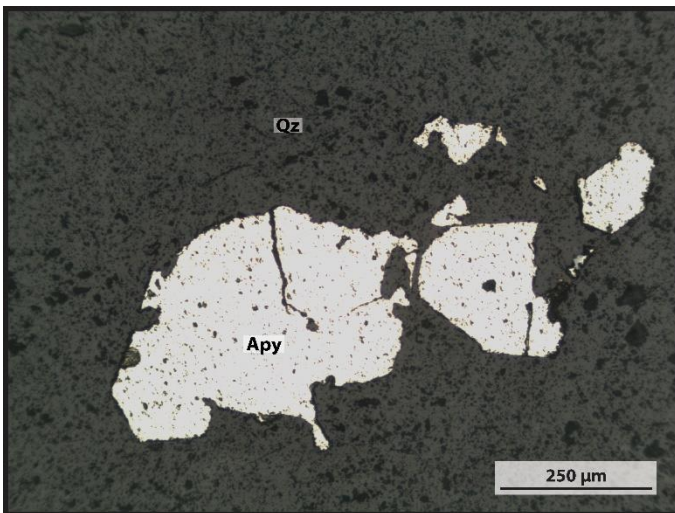
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica corresponde al 8% de la muestra y se presenta mayormente diseminada.		
Sulfuros	%	Características
Pirita rica en Arsénico	6	Cristales diseminados formando cúmulos con forma subhedral y tamaño promedio de 150 μm .
Pirita	8	Cristales diseminados con forma anhedral y tamaño promedio de 10 μm .
Esfalerita	2	Cristales diseminados menores a 2 μm , que pueden ser confundidos con goethita rica en plomo.
Óxidos	%	Características
Limonitas	69	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral a euhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Hematita	8	Cristales anhedrales a subhadrals con tamaño menor a 100 μm . Se presentan diseminados intercrecidos con goethita y en ocasiones con borde de goethita.
Otros	7	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cristal de hematita (Hm) con borde de goethita (Goe) en cuarzo (Qz).

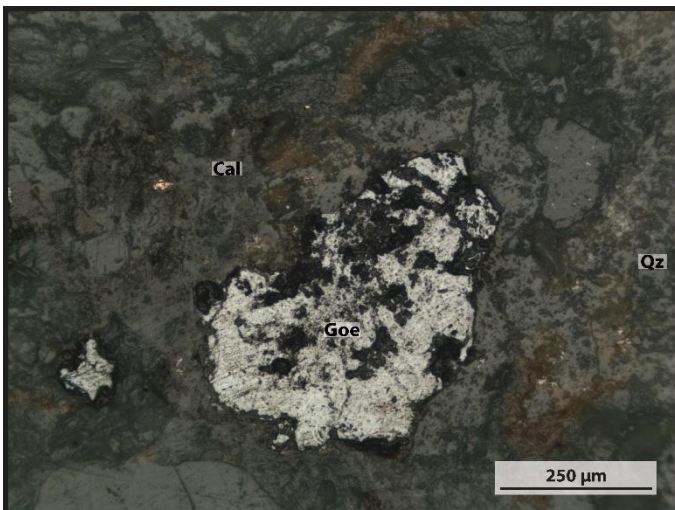
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristales de pirita rica en arsénico (Apy) formando un cúmulo en cuarzo (Qz).

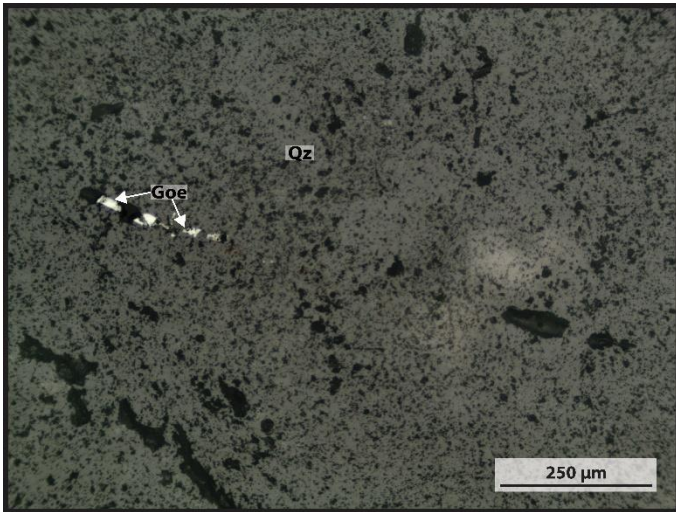
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Cristal de goethita (Goe) junto a calamina (Cal) relleno de espacios en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Goethita (Goe) relleno oquedades orientadas linealmente, probablemente por una vetilla previa, en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

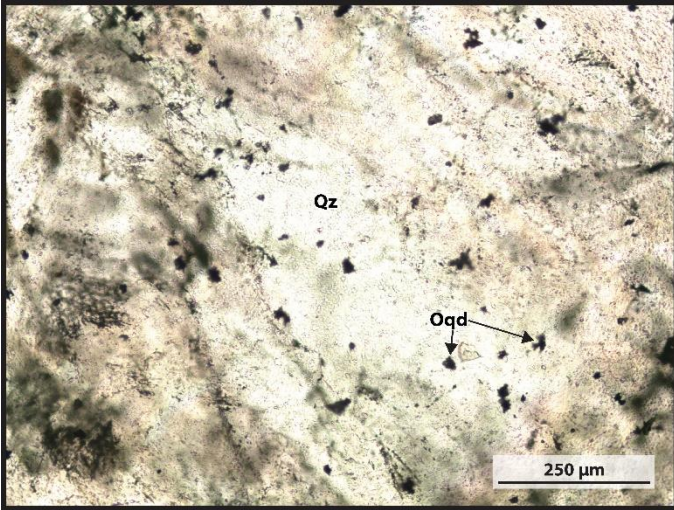
Muestra N°	2
Corte N°	2

Código	AM71 01-B
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura bandeada, con bandas bien definidas, diferenciadas principalmente por su granulometría. Predominan las texturas jigsaw y comb, pero también presenta textura coloforme. Los minerales opácos ocurren de forma diseminada y se encuentran en su mayoría reemplazados por goethita. Además, el corte presenta pocas evidencias de brechización.

Estructuras
Presenta oquedades en cuarzo con textura comb. Además presenta vetillas de cuarzo con textura comb.

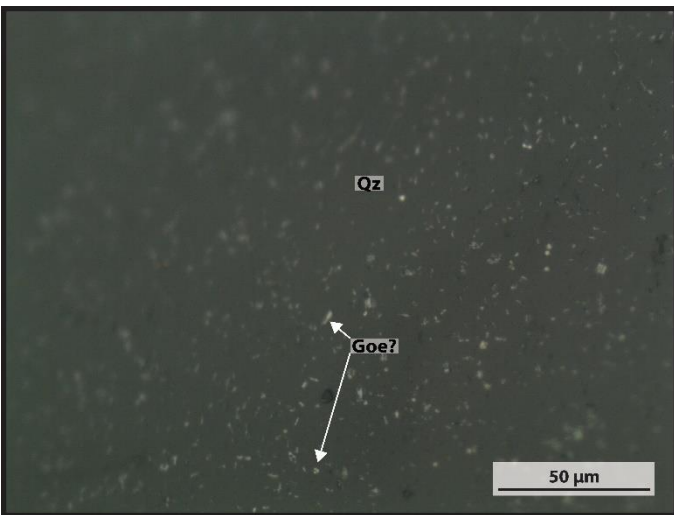
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica corresponde al 13% de la muestra y se presenta mayormente diseminada.		
Sulfuros	%	Características
Pirita	18	Cristales diseminados con forma anhedral y tamaño menor a 10 μm .
Óxidos	%	Características
Limonitas	73	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	9	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
Otros	%	Características
Oro Nativo	Trz	Cristales menores a 3 μm diseminados en cuarzo con textura jigsaw.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cuarzo (Qz) con oquedades (Oqd) que probablemente fueron sulfuros.

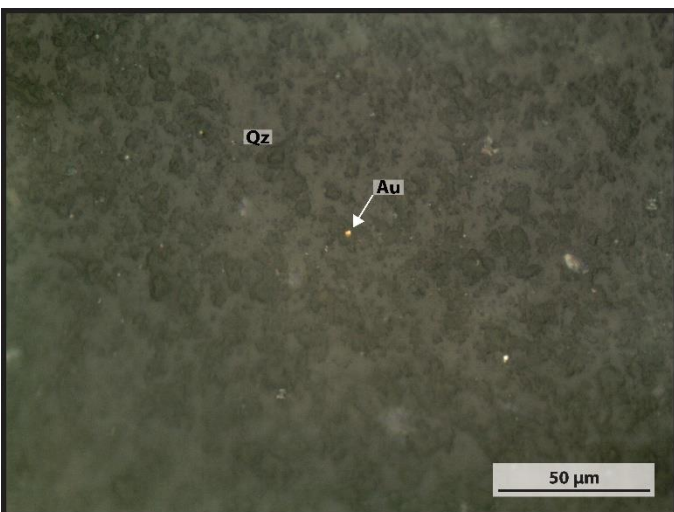
Luz transmitida. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cuarzo (Qz) con cristales muy pequeños de lo que probablemente es goethita (Goe), formando una estructura "boxwork".

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Oro nativo (Au) en cuarzo.

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

Muestra N°3

Nombre roca
Brecha hidrotermal de cuarzo

Coordenadas		Altura
417840 E	7171341 N	1899 m
Pozo		Profundidad
AM-076		70.65 m



Observaciones macroscópicas

Veta de cuarzo brechizada. Presenta clastos de cuarzo oscuro, color marrón verdoso, con abundantes oquedades. Dentro de un clasto correspondiente a la brecha también se observa una estructura brechoza, indicando más de un evento de brechización. Además presenta cristales negros que pueden corresponder a sulfuros de cobre, probablemente calcosina. Su matriz corresponde a los mismos clastos pero de tamaño menor a 2 mm y su cemento es ferruginoso, que se expresa como goethita y limonitas.

A continuación se describe 1 corte obtenido de esta muestra.

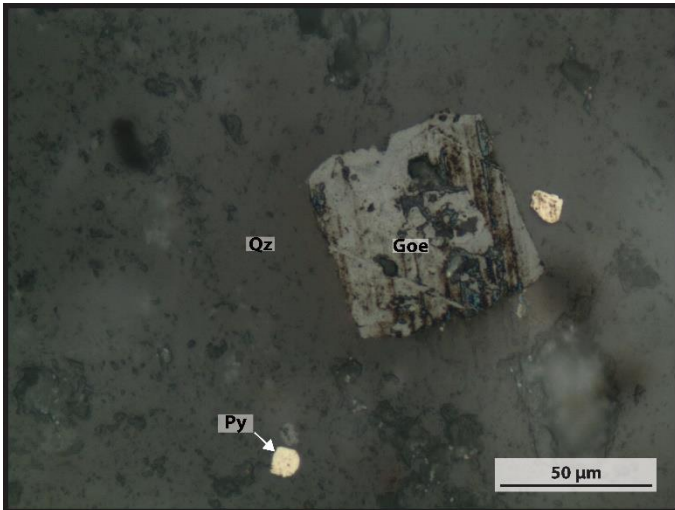
Muestra N°	3
Corte N°	1

Código	AM76 01
--------	---------

Observaciones microscópicas
<p>El corte presenta una estructura brechoza, es matriz soportado con fragmentos polimícticos. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso. Tiene un 40% de matriz, un 35% de clastos y un 25% de cemento. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw y comb. La matriz se compone de cuarzo con textura jigsaw y comb, con predominancia de la textura jigsaw. El cemento se compone principalmente por limonitas, calamina y carbonatos (ankerita y cerusita).</p>

Estructuras
<p>Presenta oquedades y fracturas rellenas mayormente por goethita, aunque en ocasiones también por carbonatos</p>

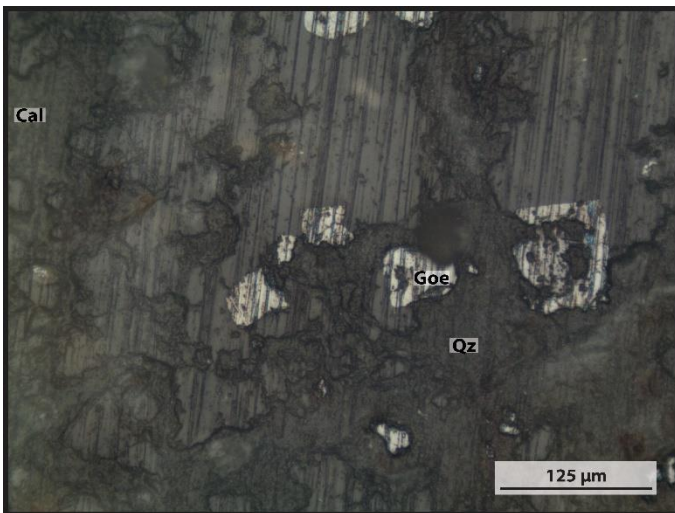
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica corresponde al 18% de la muestra y se presenta mayormente diseminada.		
Sulfuros	%	Características
Pirita	8	Cristales diseminados con forma anhedral y tamaño promedio de 10 μm .
Galena	12	Cristales anhedrales, menores a 250 μm y con un promedio de 8 μm , diseminados en cuarzo.
Calcopirita	2	Cristales con forma anhedral, menores a 30 μm . Casi en su totalidad reemplazada por goethita.
Óxidos	%	Características
Limonitas	63	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral a euhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	15	Óxidos de zinc (calamina) y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cristal cúbico de goethita (Goe) y pirita (Py) subhedral, en cuarzo (Qz).

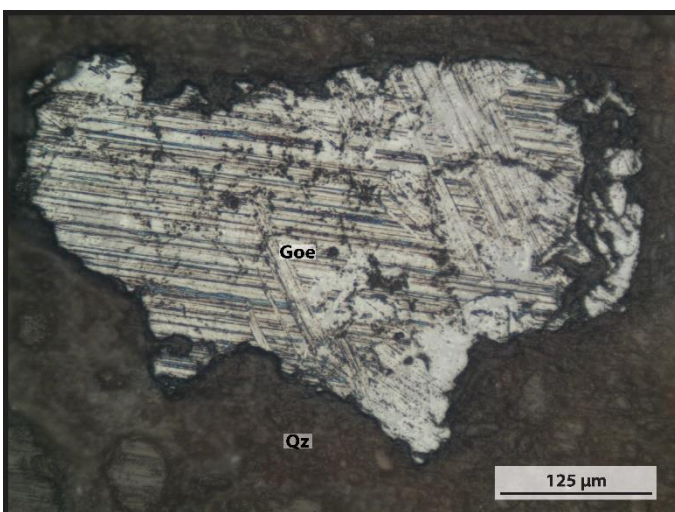
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristales de goethita (Goe) en cuarzo (Qz).

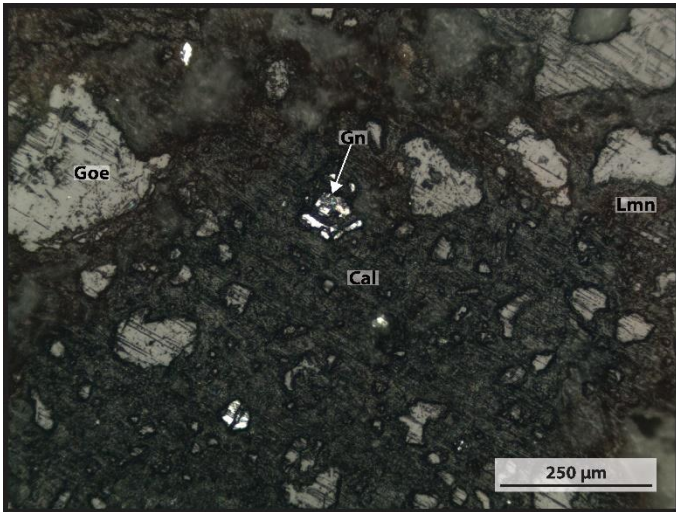
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Cristal de goethita (Goe) con forma anhedral, en cuarzo (Qz).

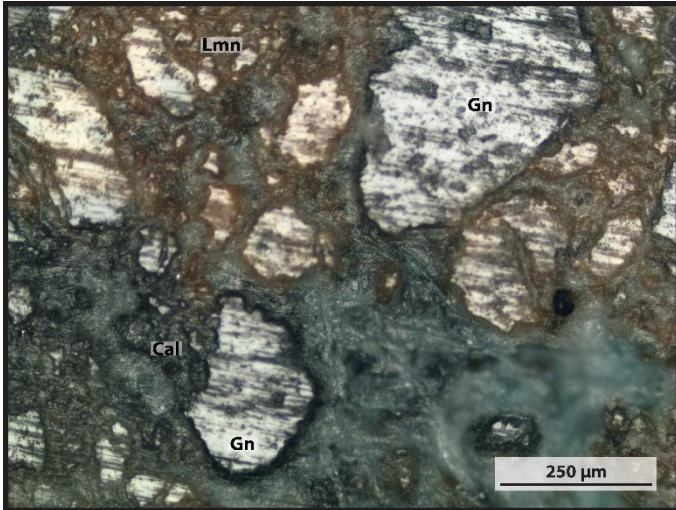
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Cristales de galena (Gn) y goethita (Goe) diseminados en calamina (Cal) y limonitas (Lmn).

Luz reflejada. Nicoses paralelos.



Fotomicrografía N°5:

Cristales de galena (Gn) en calamina (Cal) y limonitas (Lmn).

Luz reflejada. Nicoses paralelos.

Muestra N°4

Nombre roca
Brecha hidrotermal de cuarzo

Coordenadas		Altura
417876 E	7171206 N	1905 m
Pozo	Profundidad	
AM-084	155.2 m	

**Observaciones macroscópicas**

Veta de cuarzo brechizada. Presenta clastos de cuarzo oscuro, color marrón verdoso, con abundantes oquedades. En los clastos se observa un leve bandeamiento, que posiblemente corresponde a textura crustiforme del cuarzo. Se observa cuarzo blanco masivo bordeando a los clastos (textura cockade). Tiene matriz de cuarzo con textura comb, blanco-traslúcido y un cemento ferruginoso, que se expresa como goethita y limonitas.

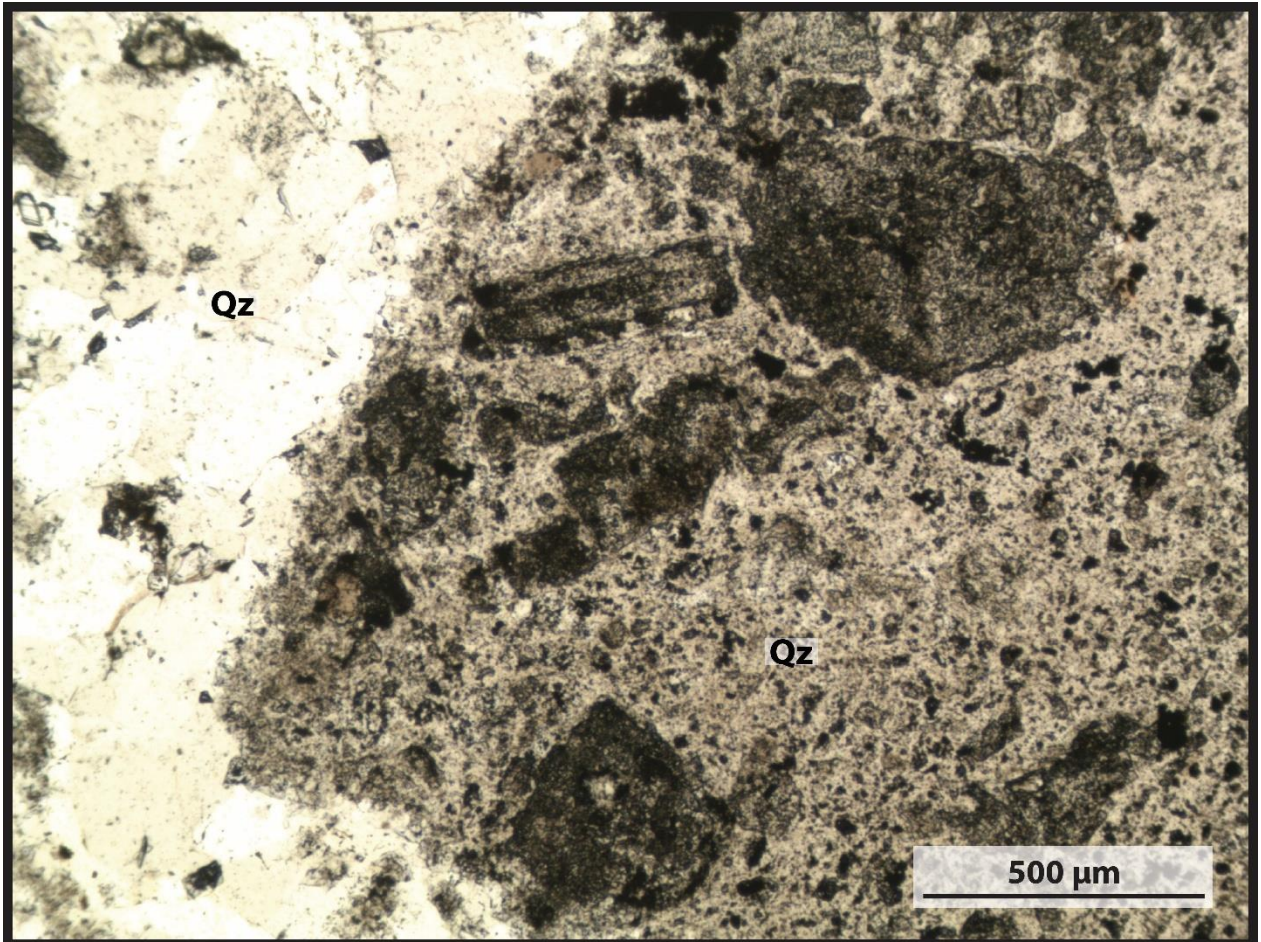
A continuación se describen 3 cortes obtenidos de esta muestra.

Muestra N°	4
Corte N°	1

Código	AM84a
--------	-------

Observaciones microscópicas

El corte presenta una estructura brechoza, es matriz soportado con fragmentos bímicticos (clastos de cuarzo y de minerales opácos). Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso. Tiene un 55% de matriz, un 35% de clastos y un 10% de cemento. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw y comb. La matriz se compone de cuarzo con textura jigsaw y comb aleatoriamente distribuido, con predominancia de la textura comb. El cemento se compone principalmente por goethita, jarosita y limonitas. Además, presenta adularia formando cúmulos junto a minerales opácos.



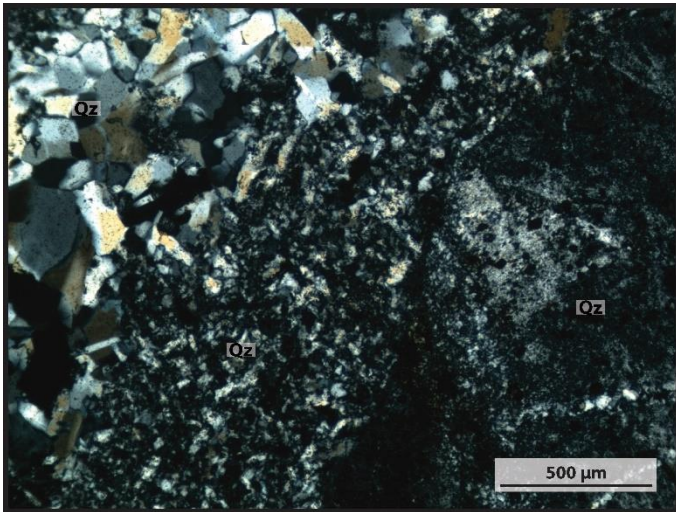
Estructuras

Presenta vetillas de cuarzo discontinuas en los fragmentos. Además presenta oquedades, sobre todo en la matriz con textura comb, algunas con relleno de arcillas o cuarzo. Las vetillas corresponden al 2% del corte y las oquedades a un 3%.

Mineralogía Metálica

La mineralogía metálica representa un 8% de la muestra y se presenta diseminada formando cúmulos en algunos casos.

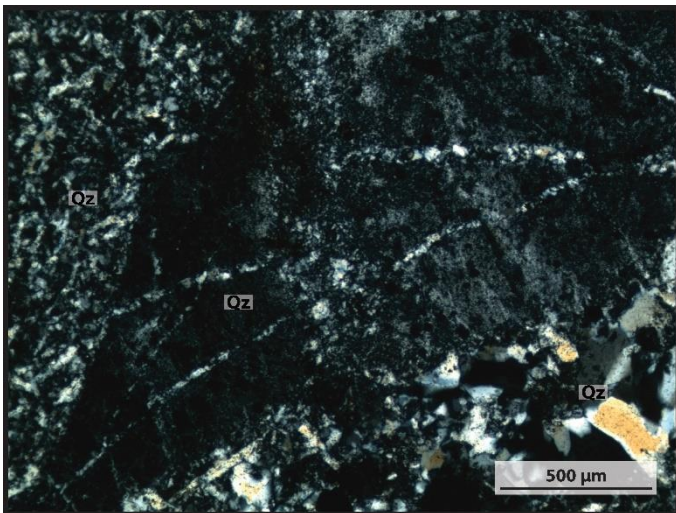
Sulfuros	%	Características
Pirita	12	Cristales anhedrales a subhedrales con un tamaño promedio de 15 μm , diseminados principalmente en los clastos.
Galena	2	Cristales anhedrales, menores a 25 μm y con un promedio de 8 μm , diseminados en cuarzo.
Óxidos	%	Características
Goethita	58	Cristales con forma subhedral a euhedral. Comúnmente como polimorfo de otros minerales.
Hematita	3	Cristales anhedrales a subhedrales con tamaños cercanos a los 30 μm . Se presentan diseminados intercrecidos con magnetita.
Jarosita	8	Intercrecida con goethita formando limonitas.
Rutilo	1	Agregado de cristales formando cúmulos de tamaños menores a 100 μm . Intercrecido con clorita rellenando espacios.
Calamina	10	Formado por hemimorfita e hidrocincita. Minerales secundarios, óxidados de zinc. Rellenando espacios.
Motramita	1	Mineral secundario, comúnmente rellenando espacios.
Vanadinita	Trz	Mineral secundario, comúnmente rellenando espacios.
Mimetita	Trz	Mineral secundario, comúnmente rellenando espacios.
Otros	%	Características
Yodargirita	Trz	Diseminado en cristales de goethita con inclusiones de Pb y Zn.
Clorita	5	Rica en Zn (baileychlore). Intercrecida con rutilo.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Distintos “pulsos” de cuarzo (Qz) o brechizaciones observadas en el corte.

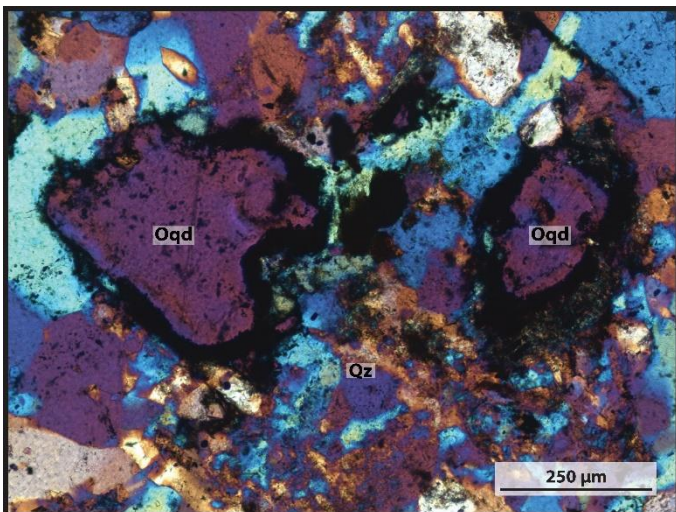
Luz transmitida. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°2:

Vetillas de cuarzo (Qz) con textura comb cortando cuarzo con textura jigsaw.

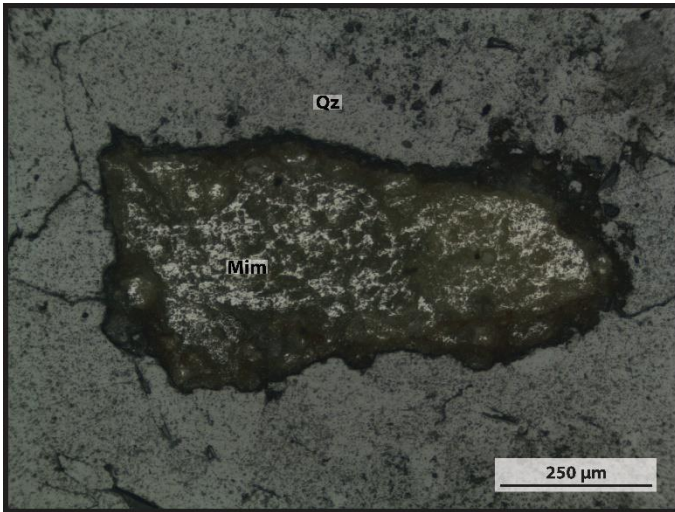
Luz transmitida. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°3:

Oquedades (Oqd) presentes en cuarzo (Qz) con textura comb.

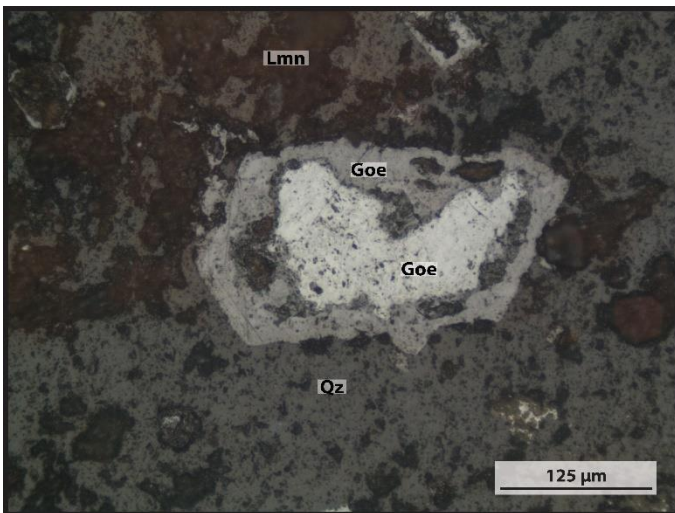
Luz transmitida. Nícoles cruzados con placa de yeso.



Fotomicrografía N°4:

Cristal de mimetita (Mim) en cuarzo (Qz).

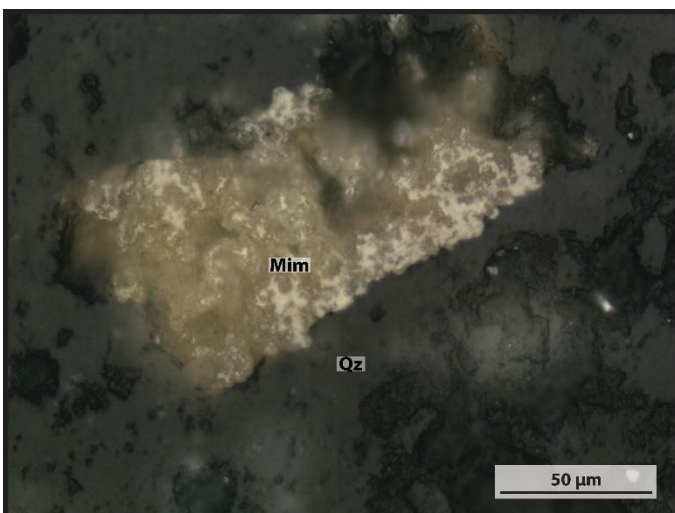
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°5:

Goetita (Goe) con diferencias composicionales relleno de espacios en cuarzo (Qz).

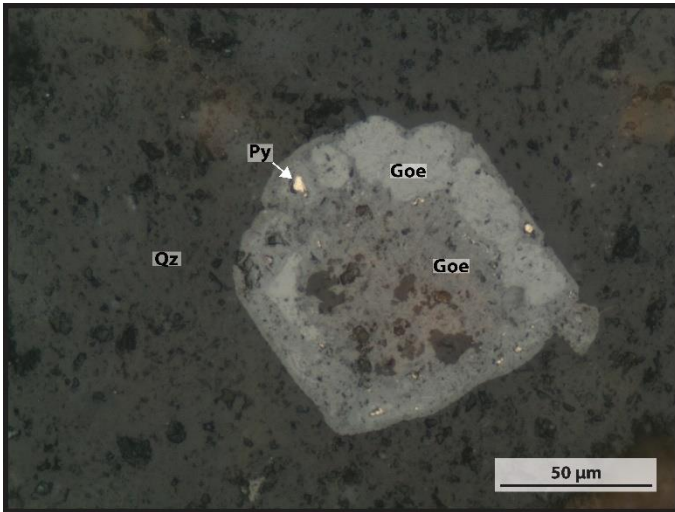
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°6:

Mimetita (Mim) relleno de espacios en cuarzo (Qz).

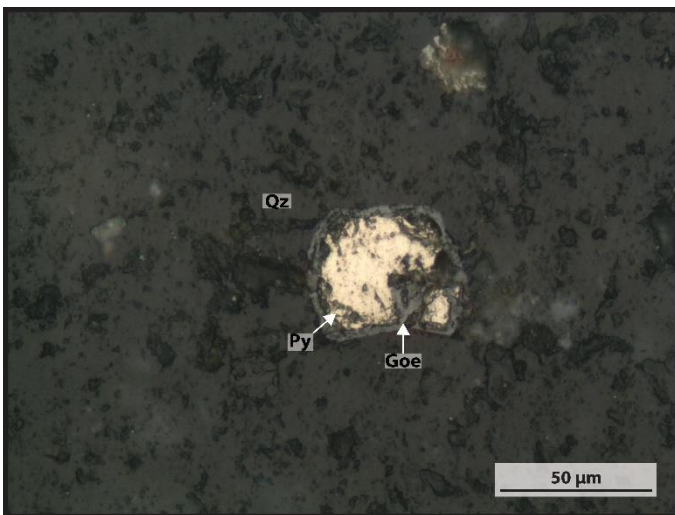
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°7:

Goethita (Goe) reemplazando a pirita (Py), en cuarzo (Qz).

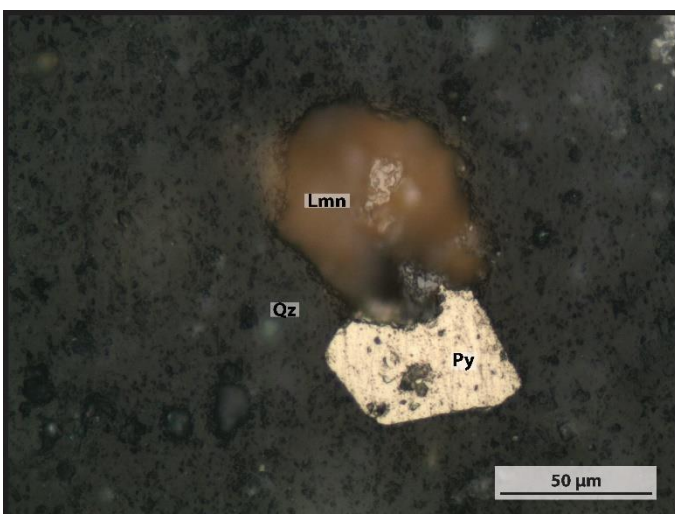
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°8:

Pirita (Py) con borde de goethita (Goe), en cuarzo (Qz).

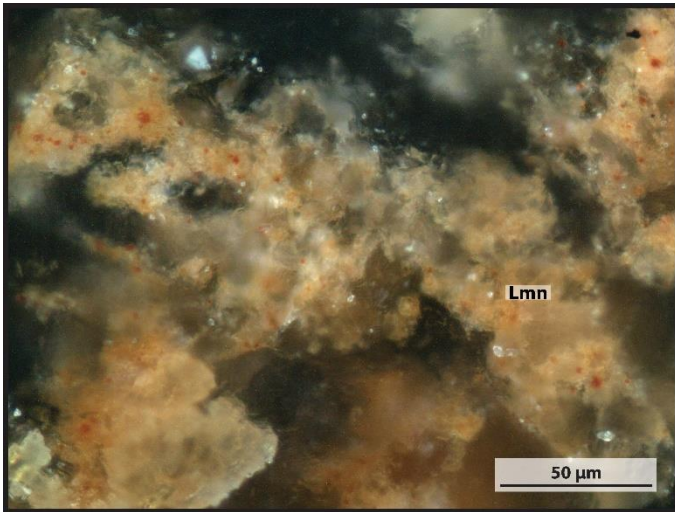
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°9:

Pirita (Py) siendo reemplazada por limonitas (Lmn), en cuarzo (Qz).

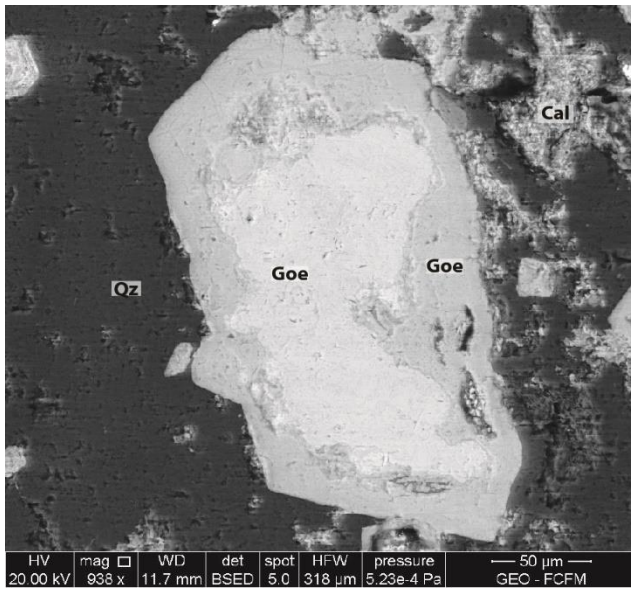
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°10:

Limonitas (Lmn) relleno espacios en cuarzo.

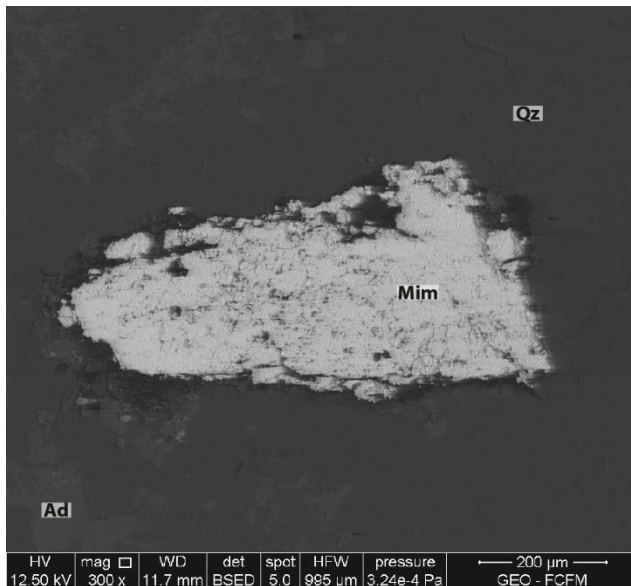
Luz reflejada. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°11:

Goethita (Goe) y calamina (Cal) relleno espacios en cuarzo (Qz). Mismo cristal que fotomicrografía 5.

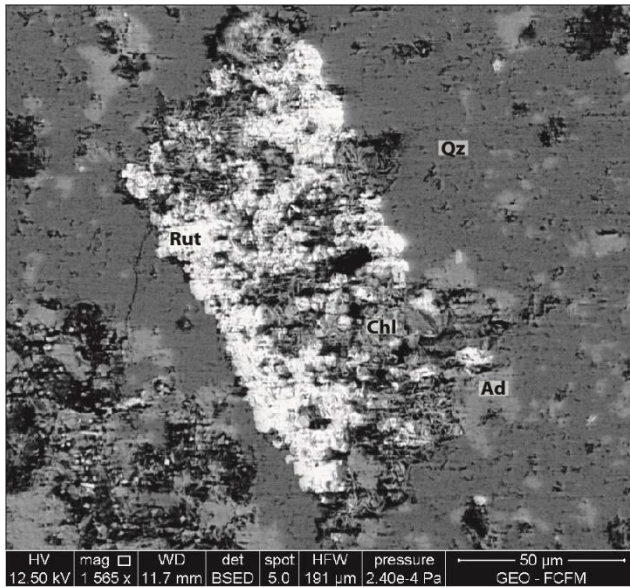
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°12:

Cristal de mimetita (Mim) en cuarzo (Qz), Se puede observar adularia (Ad) intercrecida con cuarzo. Mismo cristal que fotomicrografía 4.

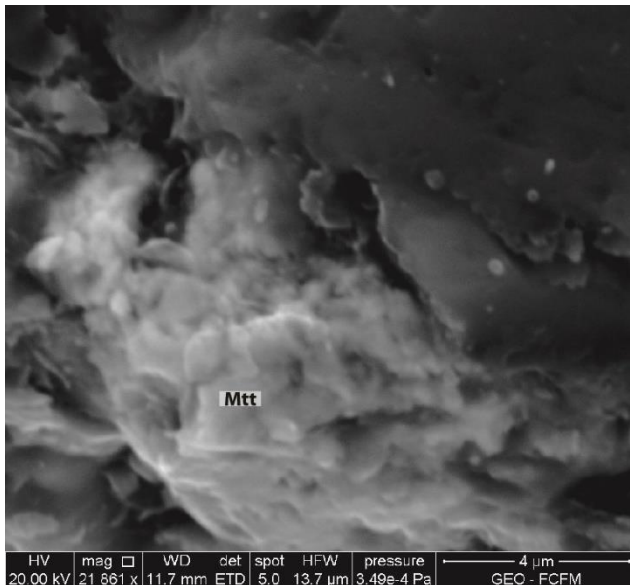
Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°13:

Rutilo (Rut) intercrecido con clorita (Chl), relleno de espacios en cuarzo (Qz) y adularia (Ad).

Imagen SEM – BSE.



Fotomicrografía N°14:

Motramita (Mtt) relleno de espacios en cuarzo, se puede observar la topografía de los cristales, indicando un origen secundario.

Imagen SEM – SE.

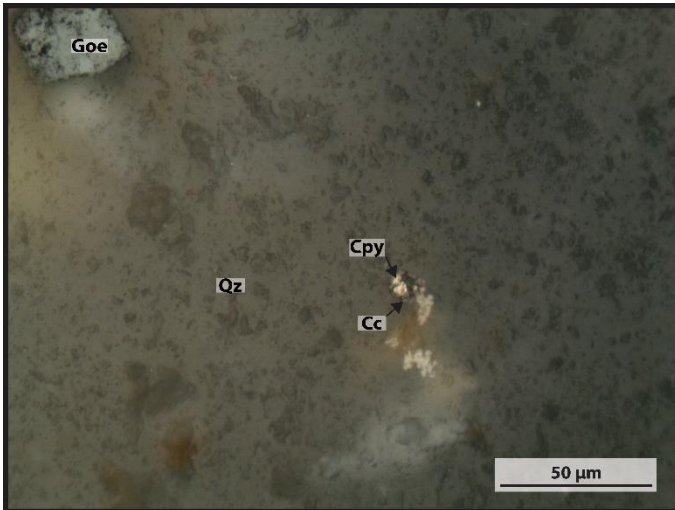
Muestra N°	4
Corte N°	2

Código	AM84 01 A
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura brechoza, es matriz soportado con fragmentos monomíticos. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso/carbonático. Tiene un 45% de matriz, un 35% de clastos y un 20% de cemento. Los fragmentos son subredondeados, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw y comb. La matriz se compone de cuarzo con textura jigsaw y comb, con predominancia de la textura comb. El cemento se compone principalmente por limonitas y cerusita.

Estructuras
Presenta oquedades, mayormente en los clastos, las que se encuentran rellenas por limonitas y carbonatos. Además presenta vetilas de cuarzo con textura comb que tienen oquedades sin relleno aparente.

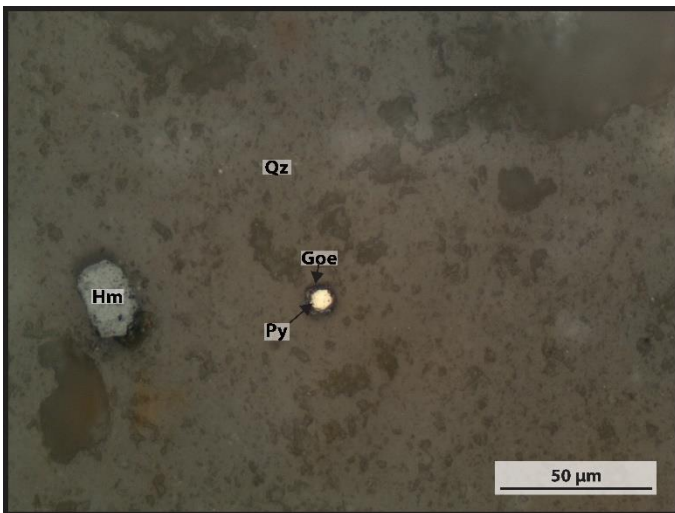
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica representa un 14% de la muestra y se presenta diseminada formando cúmulos en algunos casos.		
Sulfuros	%	Características
Calcopirita	6	Cristales anhedrales con un tamaño menor a 25 µm, diseminados en cuarzo. En ocasiones presenta calcosina en sus bordes.
Calcosina	1	Aparece rodeando a cristales de calcopirita, con la apariencia de sobrecrecimiento.
Pirita	6	Cristales subhedrales con un tamaño menor a 20 µm, intercrecidos con limonitas y en ocasiones con borde de goethita.
Óxidos	%	Características
Limonitas	70	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Hematita	4	Cristales anhedrales a subhadrals con tamaños cercanos a los 20 µm. Se presentan diseminados.
Otros	13	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Calcopirita (Cpy) con borde de calcosina (Cc), en cuarzo.

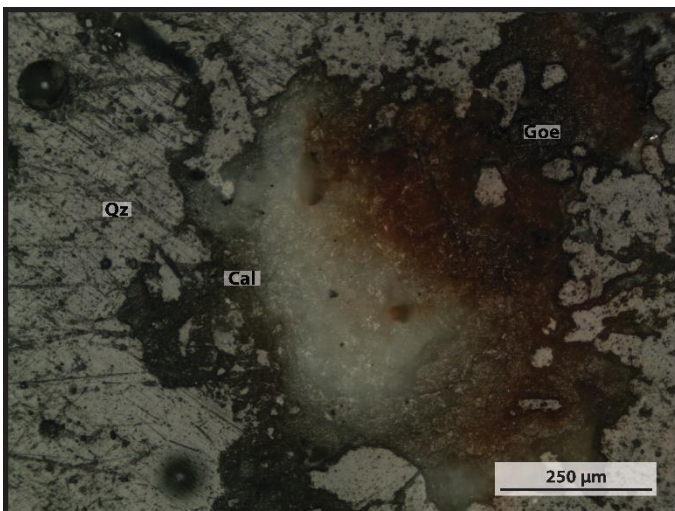
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristal de pirita (Py) con borde de goethita (Goe) en cuarzo, además se observa un cristal de hematita (Hm) que también presenta borde de goethita.

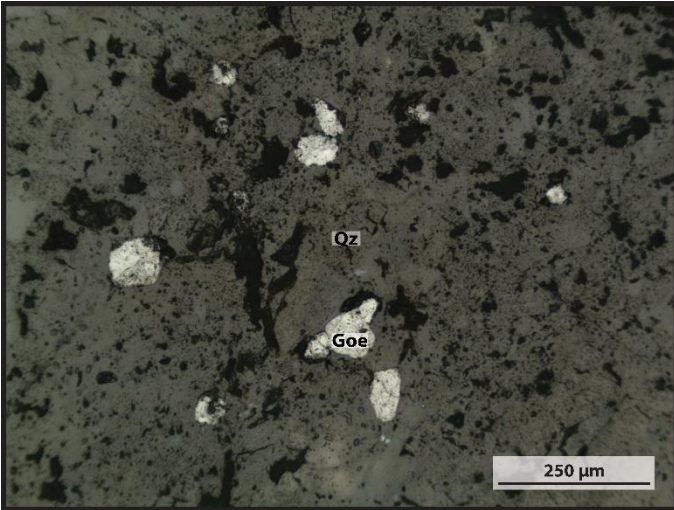
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Goethita (Goe) y calamina (Cal) relleno espacios en cuarzo (Qz)

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Goethita (Goe) relleno espacios en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

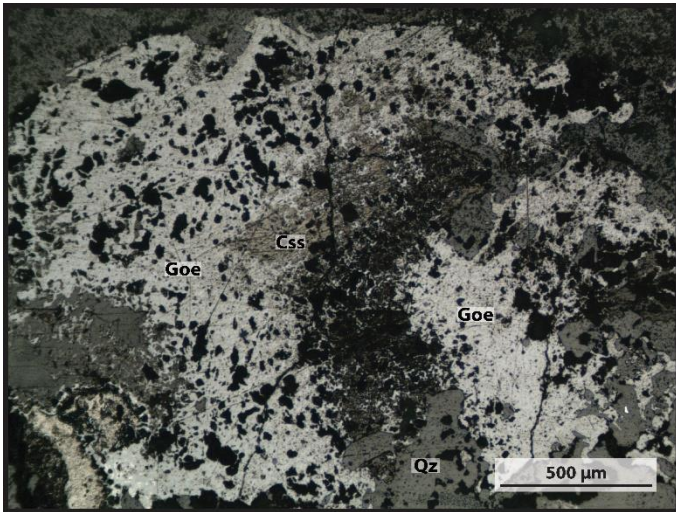
Muestra N°	4
Corte N°	3

Código	AM84 01 B
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura brechoza, es clasto soportado con fragmentos polimícticos. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso/carbonático. Tiene un 30% de matriz, un 55% de clastos y un 15% de cemento. Los fragmentos son subredondeados, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw. La matriz se compone de cuarzo con textura jigsaw y comb. El cemento se compone principalmente por limonitas, cerusita y siderita.

Estructuras
Presenta vetillas de goethita y oquedades rellenas de cerusita, goethita y arcillas.

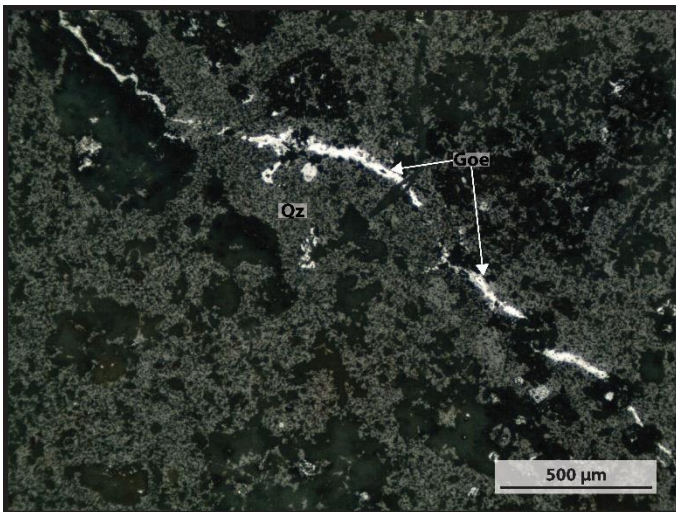
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica representa un 15% de la muestra y se presenta diseminada.		
Sulfuros	%	Características
Pirita	9	Cristales subhedrales con un tamaño menor a 30 μm , diseminados en cuarzo.
Calcopirita	6	Cristales anhedrales con un tamaño menor a 20 μm , diseminados en cuarzo.
Óxidos	%	Características
Limonitas	73	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	12	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
Otros	%	Características
Anglesita	Trz	Rellenando espacios asociado a cerusita y limonitas.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Goethita (Goe) y cerusita (Css) relleno espacios en cuarzo (Qz).

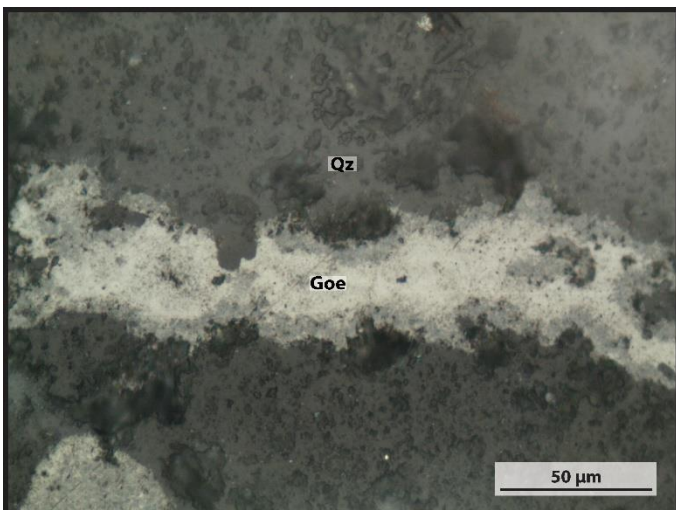
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Vetilla de goethita (Goe) en cuarzo (Qz).

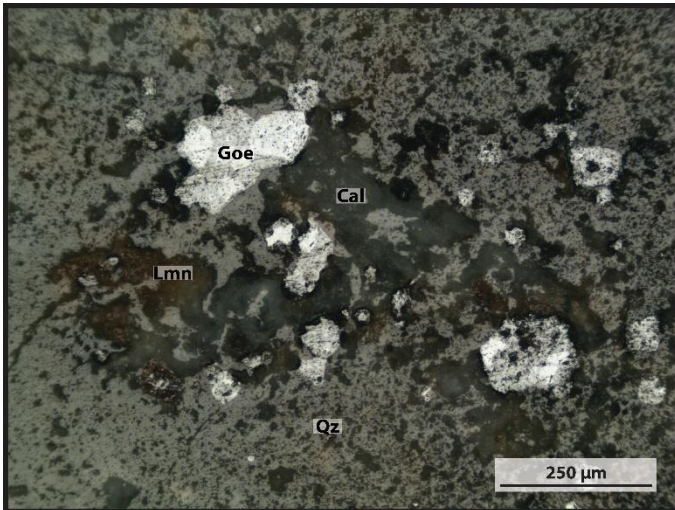
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°3:

Zoom a la vetilla de la fotografía anterior, goethita (Goe) se enriquece en plomo hacia el interior.

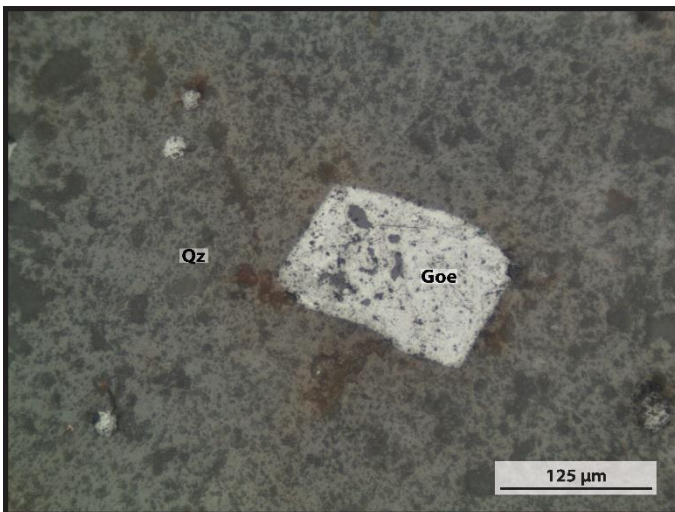
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Goethita (Goe), calamina (Cal) y limonitas (Lmn) relleno espacios en cuarzo (Qz).

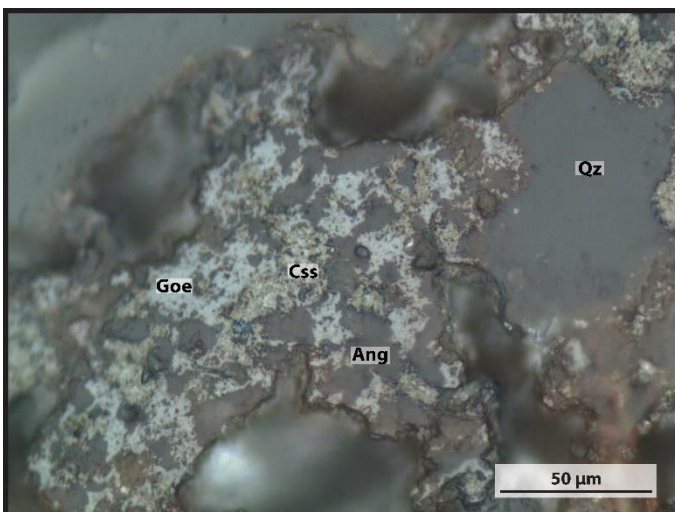
Luz reflejada. Nicols paralelos.



Fotomicrografía N°5:

Goethita (Goe) cúbica en cuarzo (Qz). Probablemente reemplazando a pirita.

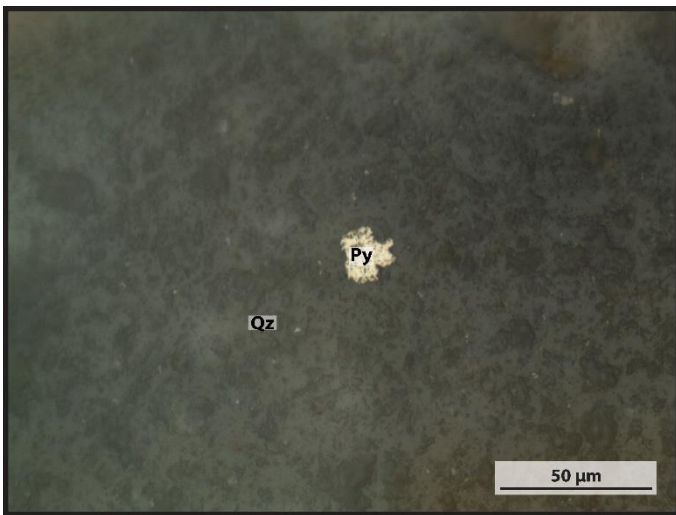
Luz reflejada. Nicols paralelos.



Fotomicrografía N°6:

Goethita (Goe), cerusita (Css) y probablemente anglesita (Ang) relleno espacios en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nicols paralelos.



Fotomicrografía N°7:

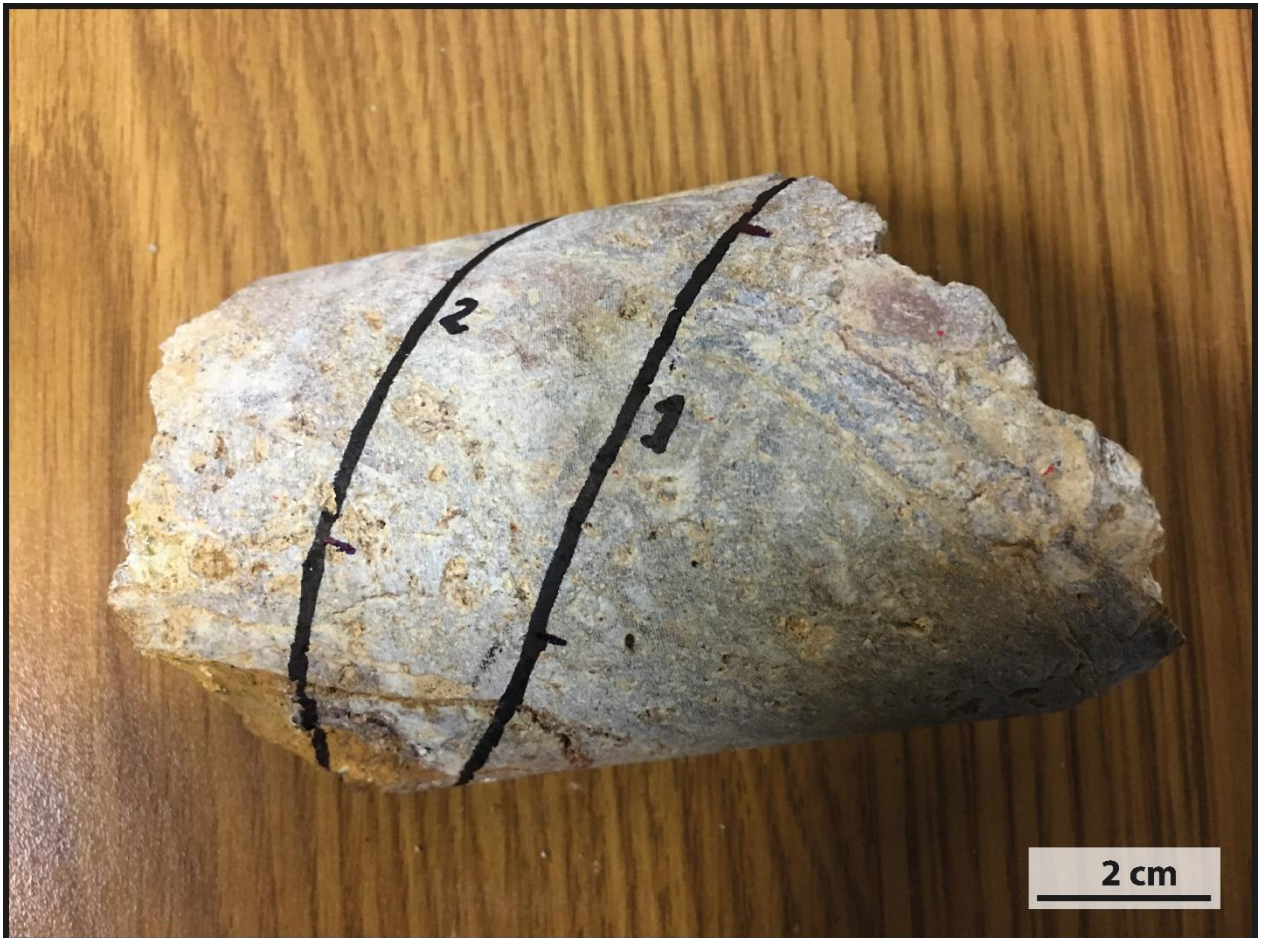
Cristal subhedral de pirita (Py) en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

Muestra N°6

Nombre roca
Brecha Hidrotermal de Cuarzo

Coordenadas		Altura
417793 E	7171081 N	1912 m
Pozo		Profundidad
AM-092		70.5 m



Observaciones macroscópicas
Veta de cuarzo brechizada. Presenta cuarzo-adularia bandeado con textura coloforme. Además presenta clastos de cuarzo masivo de colores gris y blanco. Tiene matriz de cuarzo con textura comb, blanco-traslúcido y un cemento ferruginoso, que se expresa como limonitas y jarosita.

A continuación se describen 2 cortes obtenidos de esta muestra.

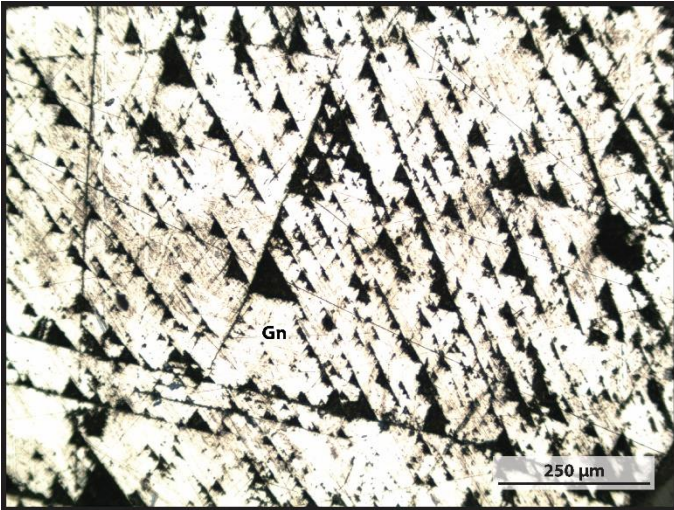
Muestra N°	6
Corte N°	1

Código	AM92 01 A
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura brechoza/bandeada, es clasto soportado con fragmentos polimícticos. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso/carbonático. Tiene un 30% de matriz, un 50% de clastos y un 20% de cemento. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw y comb, además de clastos de sulfuros masivos. La matriz se compone de cuarzo con textura jigsaw y comb. El cemento se compone principalmente por limonitas y cerusita.

Estructuras
Presenta fracturas rellenas por arcillas, vetillas de cuarzo con textura comb y oquedades rellenas por limonitas y carbonatos.

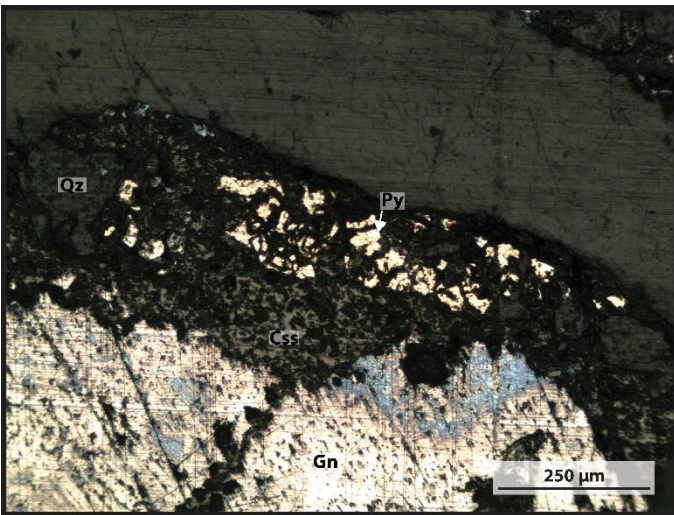
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica representa un 38% de la muestra y se presenta diseminada formando cúmulos en algunos casos.		
Sulfuros	%	Características
Galena	34	Cristales anhedrales, de hasta 1 mm formando cúmulos en cuarzo.
Pirita	10	Cristales anhedrales con un tamaño menor a 50 μm , intercrecidos con cerusita y diseminados en cuarzo.
Calcopirita	7	Cristales anhedrales a subhedrales con un tamaño promedio de 50 μm , diseminados en cuarzo. En ocasiones presenta calcosina en sus bordes
Calcosina	1	Aparece rodeando a cristales de calcopirita, con la apariencia de sobrecrecimiento.
Óxidos	%	Características
Limonitas	40	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	8	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Galena (Gn) con sus típicos “arranques” triangulares.

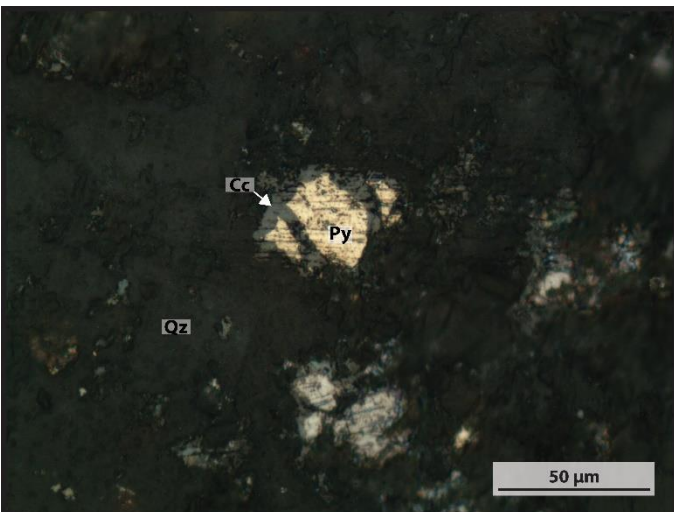
Luz reflejada. Nicoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Galena (Gn) con borde de cerusita (Css) intercrecida con pirita (Py).

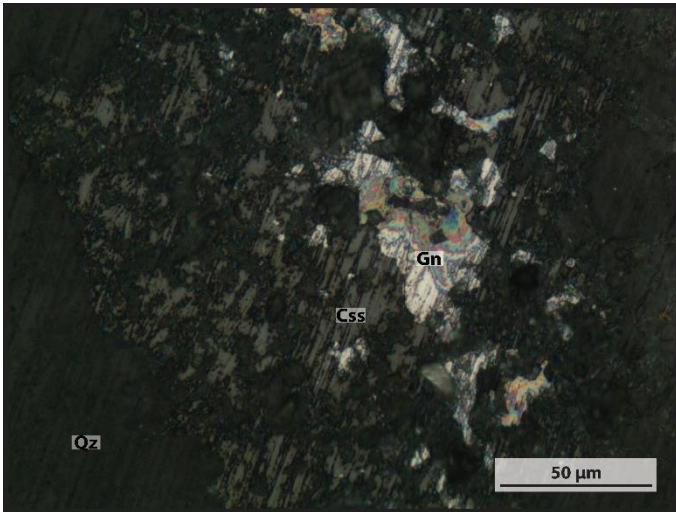
Luz reflejada. Nicoles cruzados.



Fotomicrografía N°3:

Pirita (Py) con borde de calcosina (Cc) en cuarzo (Qz).

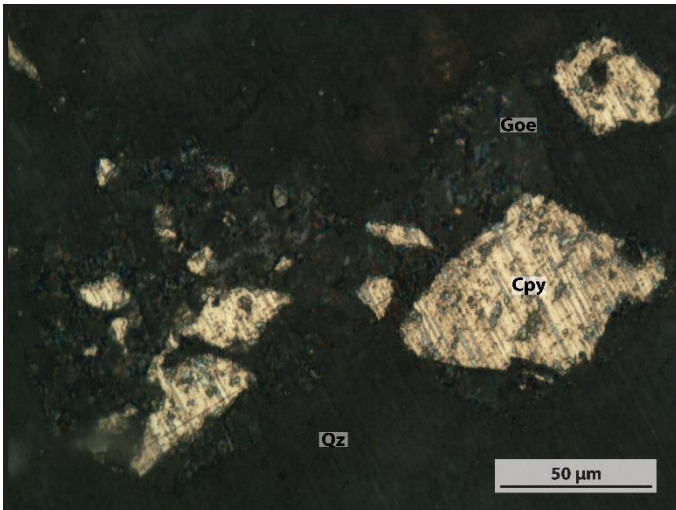
Luz reflejada. Nicoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Galena (Gn) intercrecida con cerusita (Css), en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nicos paralelos.



Fotomicrografía N°5:

Calcopirita (Cpy) intercrecida con goethita (Goe), en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nicos paralelos.

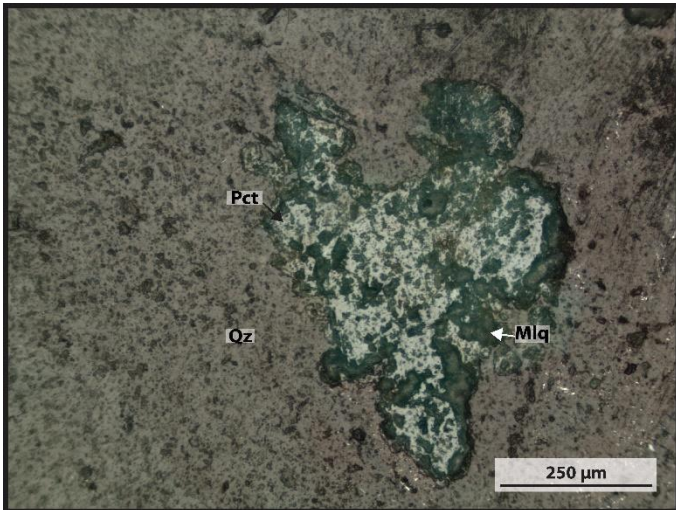
Muestra N°	6
Corte N°	2

Código	AM92 01 B
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura brechoza, es matriz soportado con fragmentos polimícticos. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso/carbonático. Tiene un 50% de matriz, un 35% de clastos y un 15% de cemento. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw y comb. La matriz se compone mayormente de cuarzo con textura comb. El cemento se compone principalmente por limonitas.

Estructuras
Presenta oquedades rellenas por arcillas y carbonatos. Además presenta vetillas de cuarzo con textura comb.

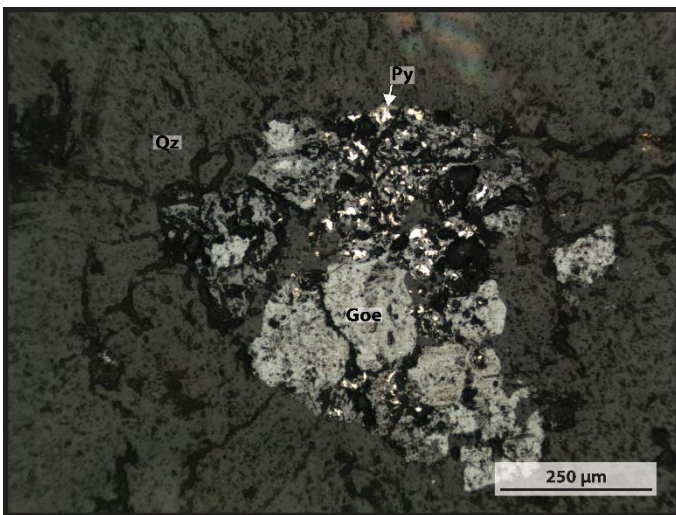
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica representa un 10% de la muestra y se presenta diseminada.		
Sulfuros	%	Características
Pirita	10	Cristales anhedrales a subhedrales con un tamaño menor a 50 μm , intercrecidos con goethita.
Óxidos	%	Características
Limonitas	73	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Malaquita	8	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Planchéita	9	Mineral secundario, comúnmente relleno de espacios.
Otros	%	Características
Oro Nativo	Trz	Cristales menores a 5 μm intercrecido con goethita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Malaquita (Mlq) y plancheíta (pct) relleno espacios en cuarzo (Qz).

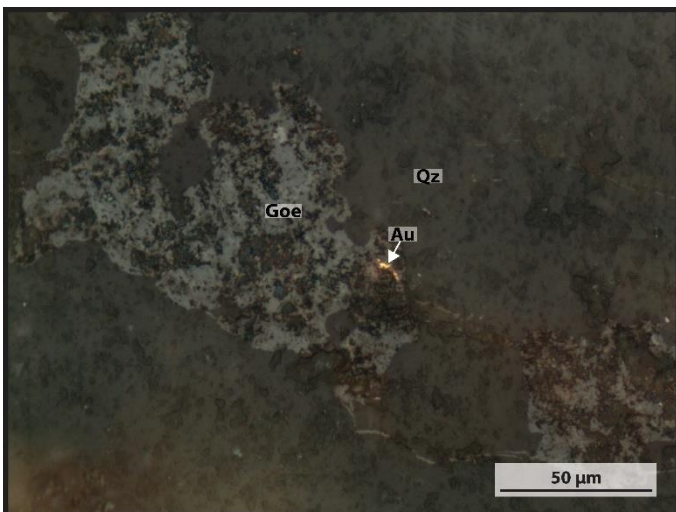
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Goethita (Goe) relleno espacios en cuarzo (Qz). Probablemente reemplazando pirita (Py).

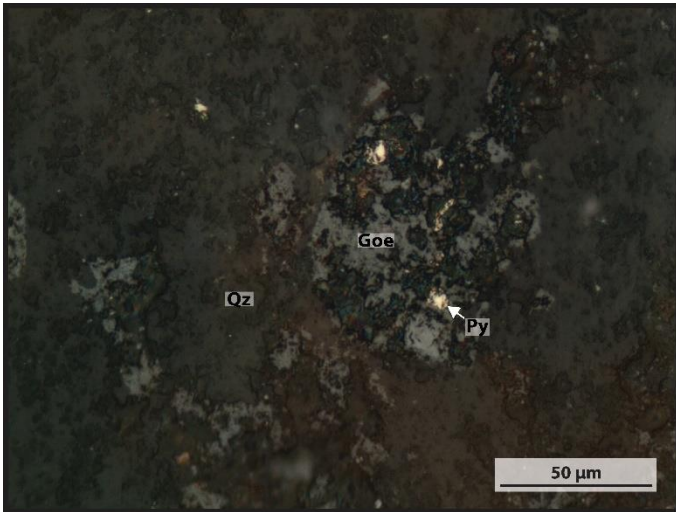
Luz reflejada. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°3:

Oro nativo (Au) dentro de goethita (Goe), en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

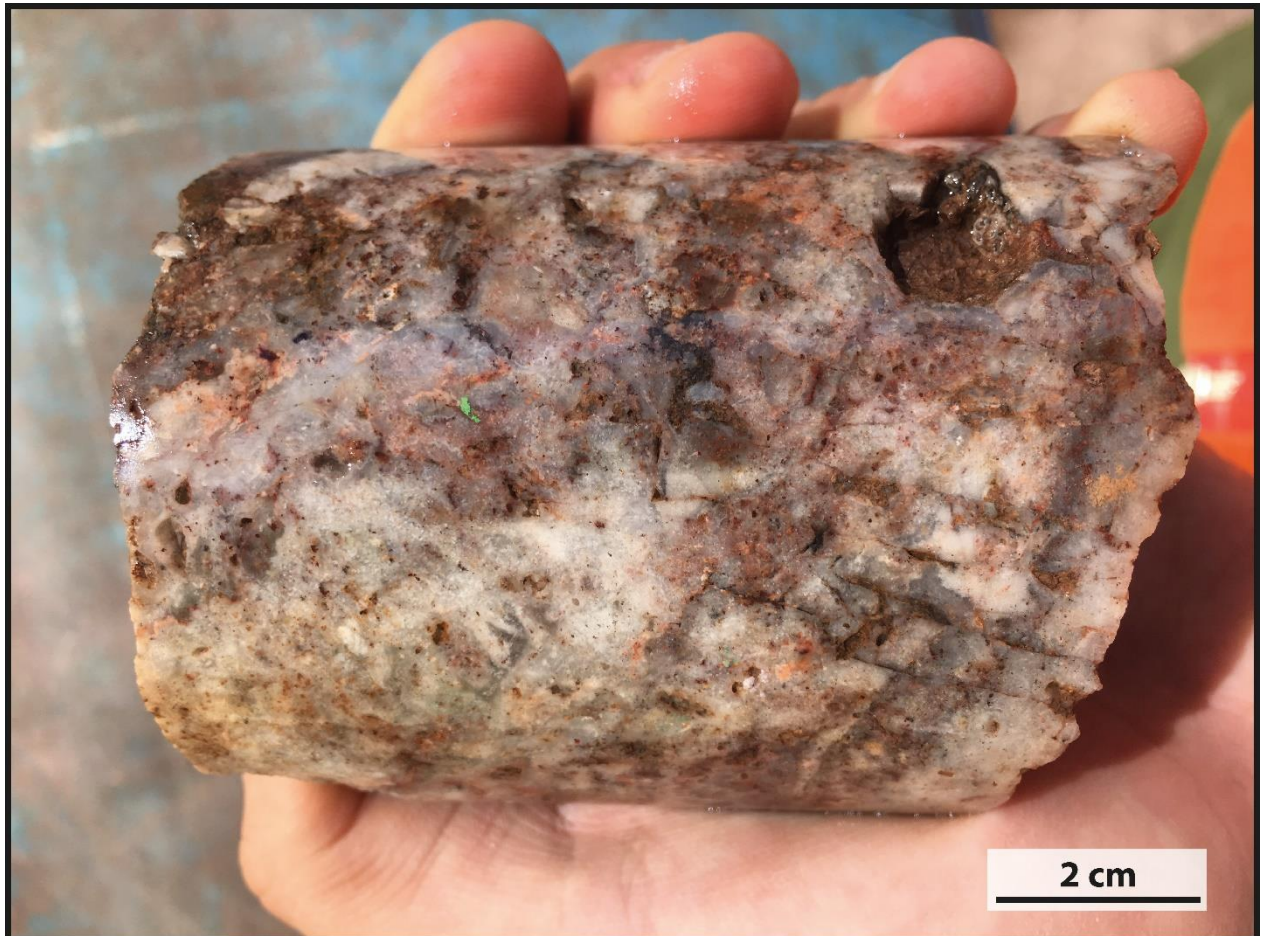
Goethita (Goe) relleno de espacios en cuarzo (Qz). Probablemente reemplazando pirita (Py).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

Muestra N°9

Nombre roca
Brecha Hidrotermal de Cuarzo

Coordenadas		Altura
417858 E	7171246 N	1902 m
Pozo		Profundidad
AM-078		147.25 m

**Observaciones macroscópicas**

Veta de cuarzo brechizada. Presenta cuarzo bandeado con textura coliforme y cuarzo masivo. Las bandas son de colores gris, rojo y blanco. Tiene abundante goethita y limonitas. Los sulfuros se asocian principalmente al cuarzo con textura comb y se encuentran diseminados. Presenta abundantes oquedades rellenas por arcillar, óxidos de hierro y carbonatos. Además presenta muy pocas evidencias de brechización.

A continuación se describen 2 cortes obtenidos de esta muestra.

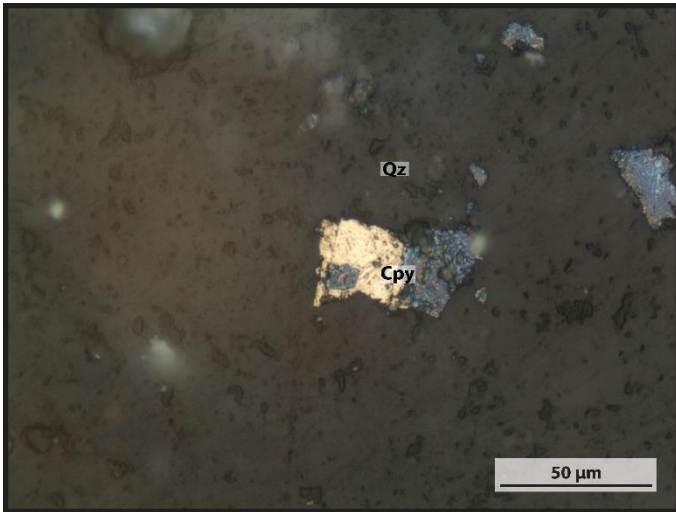
Muestra N°	9
Corte N°	1

Código	AM78 01 A
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura bandeada a masiva/homogénea, con bandas pobremente definidas. Predomina la textura comb y presenta cuarzo con textura coloforme. Los minerales opácos ocurren de forma diseminada y se encuentran en su mayoría reemplazados por goethita o carbonatos. Los carbonatos presentes corresponden en su mayoría a cerusita y siderita, con cantidades menores de calcita. Además, el corte presenta muy pocas evidencias de brechización.

Estructuras
Presenta abundantes oquedades, algunas con formas cúbicas y que alcanzan hasta los 5mm de diametro.

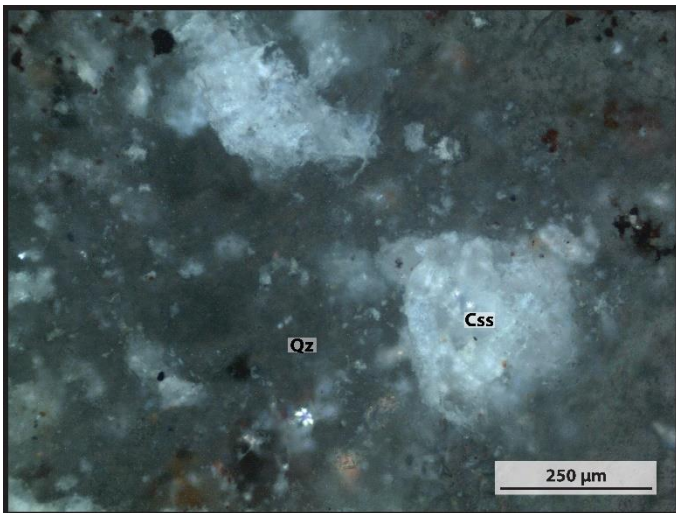
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica corresponde al 15% de la muestra y se presenta mayormente diseminada, en ocasiones formando cúmulos.		
Sulfuros	%	Características
Calcopirita	15	Cristales con forma anhedral, con un tamaño promedio de 60 µm. Casi en su totalidad reemplazada por goethita.
Galena	7	Cristales anhedrales, menores a 30 µm, diseminados en limonitas.
Pirita	1	Cristales con forma subhedral, de hasta 20 µm, diseminados en cuarzo.
Óxidos	%	Características
Limonitas	59	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral a euhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	18	Óxidos de zinc (calamina) y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Cristal de calcopirita (Cpy) subhedral con iridiscencia, en cuarzo (Qz).

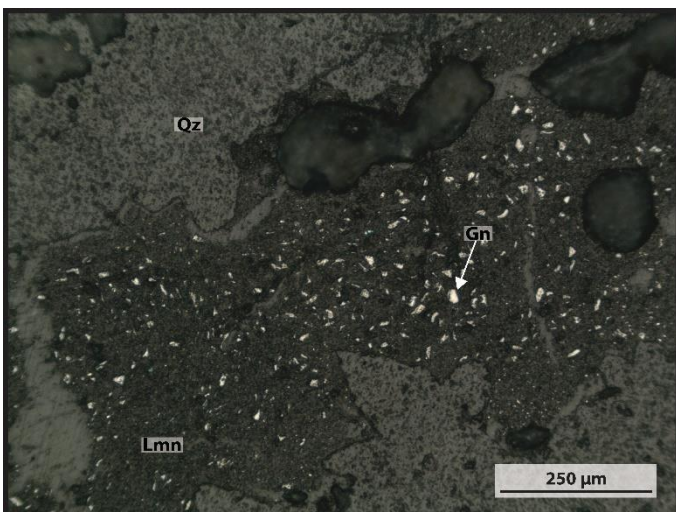
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Cristales de cerusita (Css) en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°3:

Galena (Gn) diseminada en limonitas (Lmn). Las limonitas rellenan espacios en cuarzo (Qz).

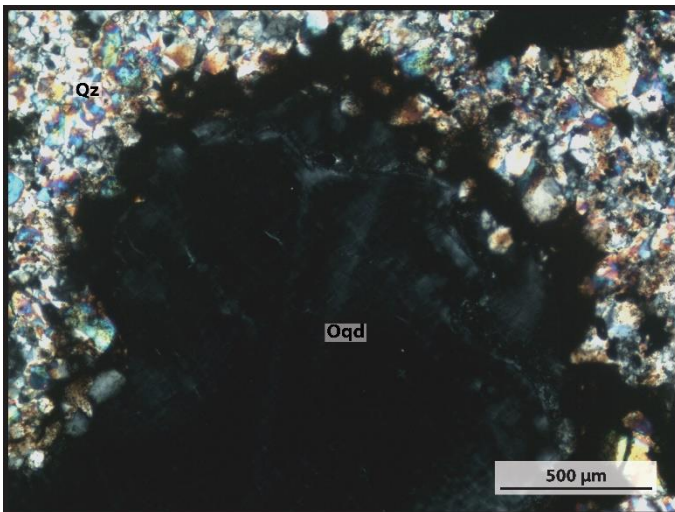
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Cerusita (Css), goethita (Goe) y calamina (Cal) relleno de espacios en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°5:

Oquedad presente en cuarzo (Qz) con textura jigsaw.

Luz transmitida. Nícoles cruzados.

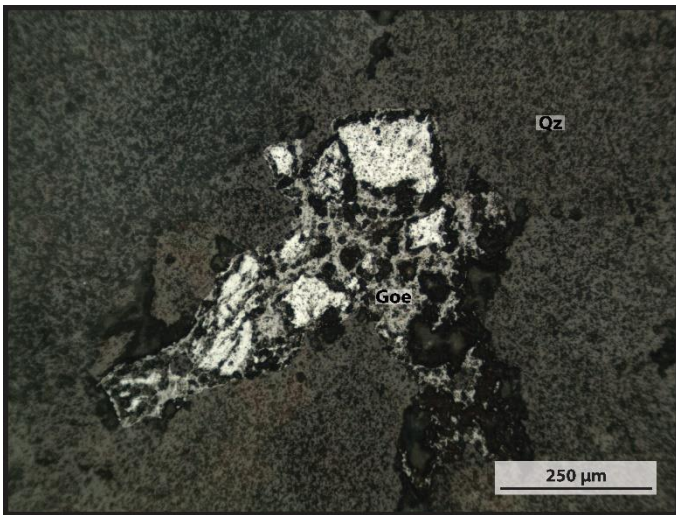
Muestra N°	9
Corte N°	2

Código	AM78 01 B
---------------	-----------

Observaciones microscópicas
El corte presenta una estructura brechoza, es matriz soportado con fragmentos polimícticos. Presenta una matriz clástica y un cemento ferruginoso. Tiene un 55% de matriz, un 35% de clastos y un 10% de cemento. Los fragmentos son subangulosos, mayormente de cuarzo con texturas jigsaw y comb. La matriz se compone mayormente de cuarzo con textura jigsaw. El cemento se compone principalmente por limonitas.

Estructuras
Presenta abundantes oquedades y vetillas. Las oquedades suelen estar rellenas de limonitas y las vetillas son mayormente de goethita y cuarzo.

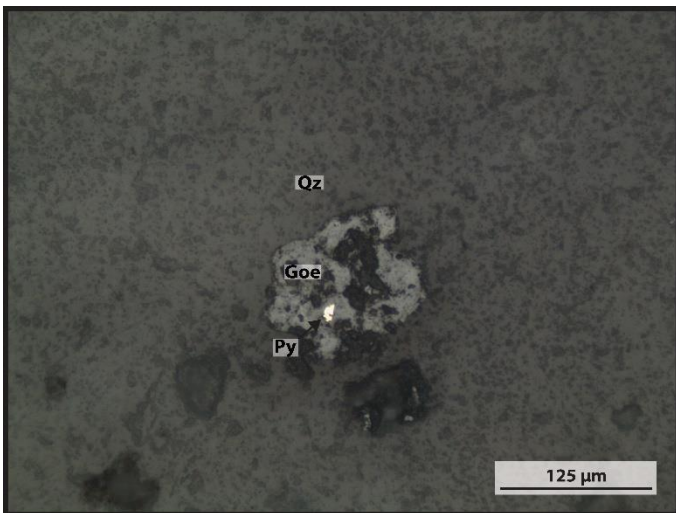
Mineralogía Metálica		
La mineralogía metálica corresponde al 11% de la muestra y se presenta mayormente diseminada.		
Sulfuros	%	Características
Pirita	20	Cristales diseminados con forma anhedral y tamaño promedio de 75 μm .
Calcopirita	8	Cristales con forma anhedral, menores a 5 μm . Casi en su totalidad reemplazada por goethita.
Óxidos	%	Características
Limonitas	67	Se reconoce principalmente goethita. Cristales con forma subhedral. Comúnmente reemplazando otros minerales.
Otros	5	Óxidos de zinc y plomo. Que puede corresponder a hemimorfita, hidrocincita o anglesita.
Otros	%	Características
Oro Nativo	Trz	Cristales menores a 2 μm intercrecido con goethita.
	100	



Fotomicrografía N°1:

Goethita (Goe) con distintos contenidos de plomo en trazas relleno espacios en cuarzo (Qz).

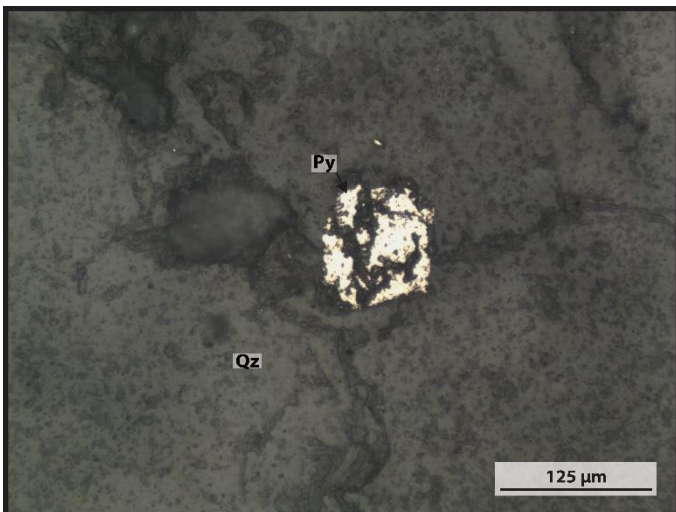
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°2:

Goethita (Goe) reemplazando pirita (Py), en cuarzo (Qz).

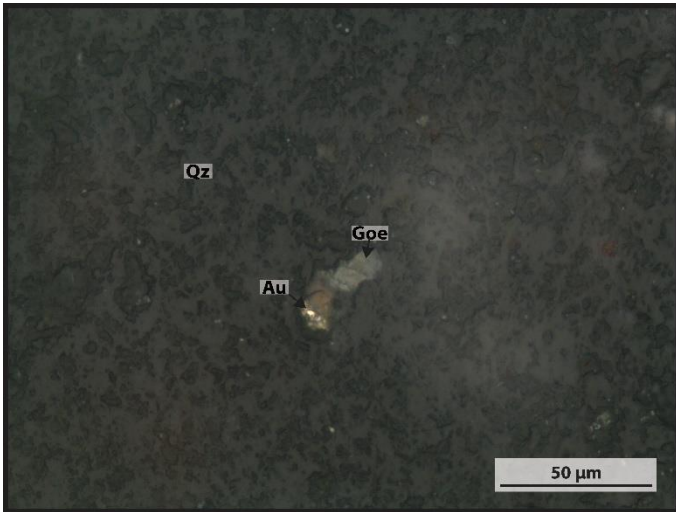
Luz reflejada. Nícoles cruzados.



Fotomicrografía N°3:

Pirita (Py) subhedral en cuarzo (Qz).

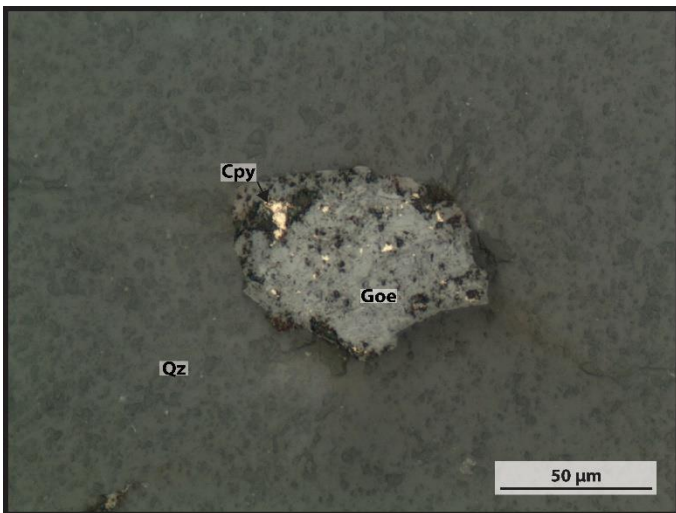
Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°4:

Oro nativo (Au) dentro de goethita (Goe) que rellena espacios en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Fotomicrografía N°5:

Calcopirita (Cpy) siendo reemplazada por goethita (goe), en cuarzo (Qz).

Luz reflejada. Nícoles paralelos.

Anexo 2: Interceptos de veta

Sondaje	Norte	Altura	Intercepto	Au	Ag	Cu	Incl Sond	Ancho Real	AnchoLeyAu	AnchoLeyAg	AnchoLeyCu
AM-068	7171368	1762.5	5.91	3.235	4.206	505.653	60.0	4.322	13.982	18.178	2185.432
AM-069	7171365	1789.5	2.00	1.120	2.300	437.000	60.5	1.451	1.625	3.337	634.087
AM-070	7171366	1822.5	0.90	1.750	6.600	372.000	59.7	0.661	1.157	4.363	245.892
AM-071	7171343	1784.8	3.28	0.894	2.856	880.076	65.8	2.161	1.932	6.172	1901.844
AM-073	7171319	1763.7	1.19	1.880	0.600	356.000	60.3	0.866	1.628	0.520	308.296
AM-074	7171322	1788.6	2.05	0.219	0.741	558.415	60.7	1.482	0.325	1.098	827.571
AM-075	7171317	1821.7	3.00	8.403	5.733	562.000	60.6	2.173	18.260	12.458	1221.226
AM-076	7171290	1834.1	1.00	1.210	1.100	362.000	68.8	0.618	0.748	0.680	223.716
AM-077	7171288	1758.3	3.00	1.913	2.767	856.667	65.0	2.007	3.839	5.553	1719.331
AM-078	7171246	1767.8	1.72	2.851	4.520	606.895	65.4	1.142	3.256	5.162	693.074
AM-079	7171216	1827.5	0.80	0.845	3.350	1196.000	59.9	0.586	0.495	1.963	700.856
AM-081	7171218	1784.6	3.00	4.083	7.933	1674.000	61.7	2.132	8.705	16.913	3568.968
AM-084	7171208	1770.4	4.85	2.862	2.788	541.577	60.0	3.547	10.152	9.889	1920.974
AM-085	7171192	1840.8	2.00	1.350	3.900	647.000	70.8	1.181	1.594	4.606	764.107
AM-086	7171192	1739.8	6.15	4.722	4.696	731.943	69.3	3.761	17.759	17.662	2752.838
AM-087	7171166	1812.5	1.70	1.798	5.382	2767.471	62.0	1.202	2.161	6.469	3326.500
AM-089	7171168	1766.9	2.00	1.220	4.000	1062.000	62.2	1.409	1.719	5.636	1496.358
AM-090	7171147	1846.1	1.00	0.005	0.500	430.000	64.0	0.682	0.003	0.341	293.260
AM-091	7171147	1801.1	1.20	1.993	4.662	1426.458	66.5	0.779	1.553	3.632	1111.211
AM-092	7171081	1851.3	7.30	4.430	17.600	1454.726	59.1	5.416	23.993	95.322	7878.796
AM-093	7171082	1825.5	2.00	4.360	6.750	1373.500	60.7	1.446	6.305	9.761	1986.081

