



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**SÍNTESIS EVOLUTIVA DEL SISTEMA TIPO PÓRFIDO Au - Cu
CERRO CASALE, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

Memoria para optar al Título de Geóloga

Valeria Sofía Peralta Jiménez

Profesor Patrocinante: Dr. Shahrokh Rajabpour

Profesional Guía: Pablo Morelli Roa

Profesoras Comisión: Dra. Fernanda Álvarez Amado
Dra. Ursula Kelm

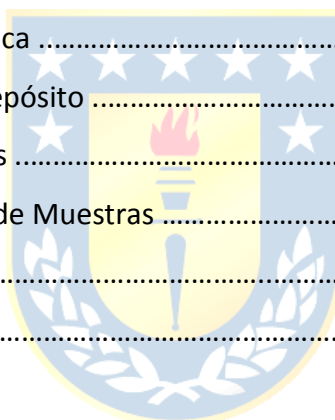
Concepción, 2020

ÍNDICE

Página

RESUMEN

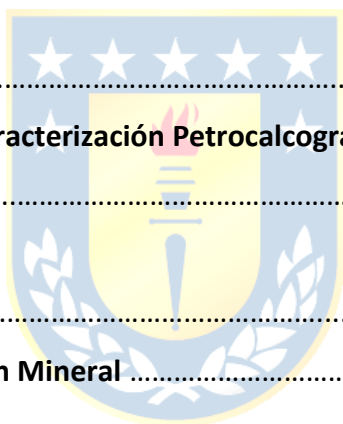
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo General	1
1.2.2. Objetivos Específicos	1
1.3. Antecedentes Generales	2
1.4. Ubicación y Vías de Acceso	2
1.5. Metodología de Trabajo	4
1.5.1. Compilación Bibliográfica	4
1.5.2. Reconocimiento del Depósito	4
1.5.3. Obtención de Muestras	4
1.5.4. Preparación y Análisis de Muestras	5
1.6. Trabajos Anteriores	5
1.7. Agradecimientos	6
2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	8
2.1. Basamento Paleozoico – Mesozoico	9
2.2. Volcanismo Cenoico	10
2.3. Tectónica Regional	11
2.4. Franja de Maricunga	13
3. MARCO GEOLÓGICO LOCAL	15
3.1. Unidades Estratigráficas	19
3.1.1. Secuencia Volcánica Rioltítica (RVS)	19
3.1.2. Secuencia Volcánica Basáltico – Andesítica (BAVS)	19
3.1.3. Secuencia Volcanoclástica Félsica (FVS)	20



3.1.4. Secuencia Epiclástica (ES)	21
3.1.5. Secuencia Volcanoclástica Dacítica (DVS)	21
3.1.6. Depósitos No Consolidados (OVBN)	22
3.2. Unidades Intrusivas	22
3.2.1. Pórfido Diorítico Pre-Mineral (PMS)	22
3.2.2. Pórfido Diorítico Inter-Mineral de Bt y Hbl I (IMC1)	23
3.2.3. Pórfido Diorítico Inter-Mineral de Bt y Hbl II (IMC2)	23
3.2.4. Pórfido Monzodiorítico Inter-Mineral (IMMZ)	23
3.2.5. Diorita Tardío-Mineral de Bt y Hbl (LMOT)	24
3.3. Cuerpos de Brecha	25
3.3.1. Brecha Magmático Hidrotermal (MHBX)	25
3.3.2. Brechas Freáticas y Freatomagmáticas (PHMBX)	26
3.3.3. Brecha Catalina (CBX)	26
4. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN DE CERRO CASALE	28
4.1. Alteración Hidrotermal	28
4.1.1. Alteración Potásica	29
4.1.1.1. Dominio de Biotita	29
4.1.1.2. Dominio de Feldespato Potásico	30
4.1.2. Alteración Propilítica	31
4.1.3. Alteración Argílica Intermedia	33
4.1.4. Alteración Sericita – Clorita – (Especlarita)	33
4.1.5. Alteración Fílica	35
4.1.6. Alteración Argílica Avanzada	36
4.1.7. Procesos Supérgenos	36
4.2. Controles Estructurales	36
4.2.1. Dominio Central SW	37
4.2.2. Dominio Central NE	38
4.2.3. Dominio SE	39



4.2.4. Dominio NW	39
4.3. Tipos de Vetillas	39
4.3.1. Vetilla Tipo EB	41
4.3.2. Vetilla Tipo M	41
4.3.3. Vetilla Tipo A	41
4.3.4. Vetilla Tipo Cuarzo Bandeado	41
4.3.5. Vetilla Tipo B	42
4.3.6. Vetilla Tipo C	42
4.3.7. Vetilla Tipo D	42
4.3.8. Vetilla Tipo E	42
4.4. Mineralización	42
5. MÉTODOS ANALÍTICOS	45
5.1. Selección de Muestras y Caracterización Petrocalcográfica	45
5.2. Análisis Químico SEM-EDS	46
6. RESULTADOS	48
6.1. Caracterización y Asociación Mineral	48
6.1.1. Mineralogía Metálica	49
6.1.2. Mineralogía de Alteración	53
6.2. Análisis Químico	55
6.2.1. Pirita	56
6.2.2. Calcopirita.....	56
6.2.3. Bornita	56
6.2.4. Molibdenita	56
6.2.5. Esfalerita	60
6.2.6. Galena	60
6.2.7. Tennantita - Tetraedrita	61
6.2.8. Covelina - Digenita	62



6.2.9. Otras Especies	62
7. DISCUSIÓN	63
7.1. Secuencia Paragenética	63
7.1.1. Etapa Hidrotermal Temprana	63
7.1.2. Etapa Hidrotermal Intermedia	65
7.1.3. Etapa Hidrotermal Tardía	65
7.1.4. Procesos Supérgenos	65
7.2. Modelo Genético del Pórfido Au - Cu Cerro Casale	66
7.3. Implicancias Químicas en la Evolución del Sistema Hidrotermal	71
8. CONCLUSION	74
9. SUGERENCIAS	76
10. REFERENCIAS	77
ANEXOS	



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1. Mapa de ubicación y acceso al área de estudio	3
2.1. Mapa esquemático de la Franja de Maricunga	8
2.2. Marco tectónico regional	12
2.3. Marco geológico con la subdivisión propuesta por Vila & Sillitoe (1991) para Franja de Maricunga	14
3.1. Geología de la zona Valle Río Nevado donde se encuentra el pórfido Au-Cu Cerro Casale y otros	16

3.2.	Perfil esquemático A-A' de la Cuenca Cuevitas asociado a la figura 3.1	17
3.3.	Distribución espacial de las distintas unidades que conforman el Pórfido Au-Cu Cerro Casale	18
3.4.	Toba vítrea de composición riolítica y textura eutaxítica	19
3.5.	Muestras obtenidas de sondajes para caracterizar la secuencia volcánica basáltico andesítica	20
3.6.	Muestra obtenida de sondaje para caracterizar la secuencia volcánica félsica	20
3.7.	Paraconglomerado de color gris oscuro, matriz soportado, polimíctico y pobremente seleccionado perteneciente a la secuencia epiclástica	21
3.8.	Afloramientos con rocas de la secuencia volcánica dacítica	22
3.9.	Texturas principales y relaciones de corte para las unidades intrusivas	24
3.10.	Brecha magmático hidrotermal de textura fragmental, clastos sub redondeados y vetillas tempranas de cuarzo	25
3.11.	Texturas representativas de la brecha freática y freatomagmática	26
3.12.	Características diagnósticas que definen a la Brecha Catalina	27
4.1.	Modelo esquemático de alteración para Cerro Casale, correlacionado con el patrón de alteración para depósitos tipo pórfido propuesto por Sillitoe (2010)	28
4.2.	Modelo estructural y litológico para el depósito Cerro Casale	29
4.3.	Interpretación de Alteración Potásica con biotita > feldespatos potásico, en base a descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN	30
4.4.	Interpretación de alteración potásica con feldespatos potásico > biotita, en base a descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN	31
4.5.	Interpretación de alteración propilítica en profundidad, en base a descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN	32
4.6.	Interpretación de alteración argílica Intermedia en profundidad, según descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN	33
4.7.	Interpretación de alteración sericita – clorita en profundidad, según descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN	34

4.8.	Interpretación de alteración fílica en profundidad, según descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN	35
4.9.	Modelo estructural de superficie para Cerro Casale junto con la litología interpretada	37
4.10.	Falla Pía observada en superficie	38
4.11.	Falla Ámbar en el dominio NE de Cerro Casale	38
4.12.	Muestras de testigos de sondajes para la caracterización de vetillas de Cerro Casale	40
4.13.	Microfotografías representativas para la distribución de Au en Cerro Casale	44
4.14.	Relaciones promedio de Au/Cu y Cu/Au según profundidad para el Proyecto Cerro Casale	44
5.1.	Distribución en profundidad de las distintas muestras de roca provenientes de sondaje diamantino con respecto a las principales zonas de mineralización del pórfido Cerro Casale	46
6.1.	Fotomicrografías ilustrando texturas de sulfuros por luz reflejada y de electrones retrodispersados	51
6.2.	Fotomicrografías ilustrando texturas de sulfuros por luz reflejada y de electrones retrodispersados	52
6.3.	Fotomicrografías ilustrando los principales productos de alteración del Pórfido Cerro Casale	54
6.4.	Diagramas de dispersión para pirita y calcopirita basado en análisis EDS	58
6.5.	Imágenes BSE de enriquecimientos en metales preciosos y minerales anómalos coexistiendo con distintas generaciones de sulfuros	62
7.1.	Modelo genético simplificado para una potencial evolución del sistema tipo pórfido Au – Cu Cerro Casale	67
7.2.	Relación profundidad – tiempo para la variación del estado de sulfuración y las condiciones de acidez de los fluidos responsables de mineralización.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
6.1. Resumen de la caracterización petrocalcográfica realizada a través de microscopía óptica en veinte secciones pulido - transparentes	49
6.2. Síntesis de resultados EDS de sulfuros pre-minerales, inter-minerales y post-minerales del depósito Cerro Casale en wt. %	57
6.3. Resultados SEM-EDS para las distintas generaciones de sulfuros presentes en el depósito Cerro Casale	59
6.4. Continuación de tabla 6.3	60
7.1 Secuencia paragenética del depósito Cerro Casale interpretada desde patrones texturales y asociaciones mineralógicas de mena y ganga	64



RESUMEN

El depósito Cerro Casale se localiza 145 km hacia el sureste de Copiapó en la Región de Atacama, Chile. Corresponde a un yacimiento tipo pórfido Au – Cu ubicado en la zona sur del Cinturón Metalogénico Maricunga, emplazado sobre rocas sedimentarias y piroclásticas de los Estratos de Río Nevado. La mineralización es introducida tras la intrusión de distintos pulsos miocenos de composición diorítica a monzodiorítica sobre un pórfido diorítico de gran envergadura. Actualmente, se encuentra en campañas de exploración avanzada como parte del Proyecto Norte Abierto.

Este estudio se enfoca en aportar al conocimiento metalogénico de la región, proponiendo un modelo teórico para la evolución del sistema hidrotermal del pórfido Cerro Casale, a partir del análisis mineralógico y químico en sulfuros de Fe – Cu. Fueron recolectadas 20 muestras de testigo de sondaje diamantino, abarcando los principales tipos de alteración y vetillas sobre las distintas unidades de roca presentes. Se trabajó con una sección pulido transparente para cada una de las muestras, identificando y caracterizando sulfuros y la mineralogía asociada. Posteriormente, son escogidos 41 granos de sulfuros en 10 muestras de la población para el análisis de elementos mayores y menores contenidos en las distintas generaciones de sulfuros mediante espectroscopia dispersiva de rayos X (SEM - EDS). Se seleccionaron 4 generaciones de pirita, 3 de calcopirita, bornita, molibdenita, galena, esfalerita, tenantita – tetraedrita y covelina – calcosina, distribuidas según temporalidad inferida en las etapas temprana, intermedia y tardía del sistema hidrotermal, asociadas a los distintos pórfidos precursores de mineralización y eventos de alteración principal. Mediante análisis químico se identificaron valores elementales (~ 1 wt. %) similares a la composición estándar de cada una de las especies, con excepción de casos anómalos de Ag en tenantita y tetraedrita. Estos resultados no descartan la presencia de elementos traza bajo los límites de detección.

La génesis del pórfido Cerro Casale responde a un sistema multiepisdótico. Los fluidos precursores de mineralización se caracterizaron por ser de alta salinidad y disponer de altas concentraciones de S. La etapa hidrotermal temprana privilegió el transporte de Au y Cu mediante complejos clorurados. Fluidos con alta fO_2 y liberación constante de SO_2 por sobre los 550°C, permiten el desarrollo de la alteración potásica y la precipitación conjunta de magnetita + pirita (Py I) + calcopirita (Ccp I) bajo un ambiente de sulfuración bajo a intermedio. El descenso paulatino de T (400 – 350°C) permite la precipitación en equilibrio de bornita + calcopirita (Ccp I). Las condiciones cuasi – litoestáticas del medio promueven el fracturamiento hidráulico de rocas dúctiles, generando el *stockwork* de vetillas de cuarzo tipo A y B con calcopirita (Ccp II) y molibdenita (Mo I) respectivamente, además de la descarga conjunta de fluidos que contribuye al desarrollo de unidades de brecha con asociaciones minerales similares. La hidratación continua de rocas circundantes gatilla el descenso brusco de T y un incremento en el pH de los fluidos, se desarrolla el halo propilítico en la periferia del núcleo potásico y una serie de procesos fisicoquímicos incrementa la adición de volátiles H_2S y CO_2 . La interacción fluido/roca se ve afectada y condiciones más ácidas favorecen la producción de HCl asociado al desarrollo de la alteración argílica intermedia. No hay depositación de nuevas generaciones de sulfuros en esta etapa. Se alcanzan T de 350 – 250°C y fluidos de moderada a baja salinidad ascienden a través de fracturas y vetillas, removilizando y adicionando sulfuros de Cu y Fe. Se desarrolla la alteración sericita – clorita además de vetillas de cuarzo tipo C con pirita (Py II) + calcopirita (Ccp III). Hacia zonas menos profundas, el ingreso de un gran volumen de fluidos meteóricos permite la lixiviación y nueva removilización de gran cantidad de elementos. Las condiciones son estables para una alteración fílica que afecta a todas las unidades intrusivas y brechas asociadas. Se emplazan vetillas tipo D y E con pirita (Py II) y pirita (Py IV) + esfalerita + galena respectivamente. El estado de sulfuración aumenta y planos de debilidad en minerales preexistentes son rellenados por tenantita – tetraedrita. Finalmente, un nivel acotado de alteración tipo argílica avanzada cubre las zonas más altas del sistema hidrotermal. El nivel de enriquecimiento es restringido y se identifican reemplazos de covelina - calcosina en bordes de calcopirita (Ccp I).

Si bien los resultados son preliminares, el yacimiento presenta una tendencia evolutiva hacia condiciones de menor T y pH, y un incremento en el estado de sulfuración y oxidación del sistema como comúnmente sucede con otros pórfidos reconocidos. Se sientan las bases para futuros estudios químicos de menor orden, que permitan develar con mayor precisión los campos de estabilidad asociados a las distintas fases minerales en equilibrio y la composición de los fluidos mineralizadores responsables de ello, para así poder comprender con más detalle la multiplicidad de factores que propiciaron el desarrollo de un depósito mineral con gran valor de mena.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La Franja de Maricunga se caracteriza por albergar numerosos eventos de actividad volcánica ocurridos entre los 26 y 5 Ma, definiendo diferentes ciclos de alteración y mineralización hidrotermal precursores de yacimientos tipo pórfido y epitermal de metales preciosos de oro y plata. Este estudio se desarrolla en el marco de la campaña de exploración avanzada del Proyecto Norte Abierto para el depósito tipo pórfido Au – Cu Cerro Casale, propiedad de las empresas Newmont Corporation y Barrick Gold Corporation mediante un *joint venture*, ubicado en el Distrito Minero Casale al sur del Cinturón de Maricunga. Surge a raíz del interés por constreñir el desarrollo textural, paragenético y químico de los diferentes tipos de sulfuros presentes, y así otorgar una mayor comprensión acerca de los fluidos responsables de mineralización durante la evolución del sistema porfídico. Junto con el apoyo de la base de datos histórica propiedad de Norte Abierto, se efectuaron estudios petrográficos y calcográficos en 20 muestras de testigo de sondaje diamantino, además del análisis químico mediante SEM – EDS en diez de ellas, sobre granos de sulfuros de distinta composición y minerales asociados. Ambos vinculados a diferentes etapas de la mineralización hidrotermal.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer un modelo evolutivo para el sistema tipo pórfido Au – Cu Cerro Casale a través del estudio mineralógico y químico en sulfuros de Fe – Cu y minerales asociados.

1.2.2. Objetivos Específicos

- (1) Determinar las diferentes generaciones de sulfuros.
- (2) Describir la composición química principal de sulfuros.
- (3) Establecer la potencial evolución del sistema hidrotermal.
- (4) Evaluar la aplicación de este tipo de estudios en campañas de exploración minera.

1.3. Antecedentes Generales

Cerro Casale representa un depósito con gran potencial minero cuya historia de exploración se remonta hace más de una década. Actualmente forma parte del Proyecto Norte Abierto junto al yacimiento Caspiche, y sus reservas de Au y Cu probadas y probables alcanzan los 23.2 Moz y 5.8 Mlb respectivamente. Las principales líneas de investigación se enfocan en el ámbito ingenieril y geológico. Respecto a este último, las campañas de exploración más recientes han implementado una serie de métodos de mapeo de detalle en torno a la descripción mineralógica de testigos, caracterización de fallas, alteración y otros, con el fin de refinar y optimizar los distintos modelos geológicos preexistentes y su aplicación. Los estudios de mayor detalle incluyen; técnicas hiperespectrales proporcionadas por CORESCAN para el mapeo de mineralogía y geoquímica de sondajes; estudios estructurales de detalle en superficie y de sondajes orientados mediante plataforma IQ-Logger; ensayos litogeoquímicos y trazadores geoquímicos, entre otros.

En el presente se evalúa la proyección y factibilidad de conservar el proyecto para futuras fases de exploración y producción a largo plazo.

1.4. Ubicación y Vías de Acceso

El yacimiento Cerro Casale se localiza en la zona sur de la Franja de Maricunga, en la Región de Atacama, Chile. Las coordenadas geográficas aproximadas para el centro del proyecto son 27°47'S y 69°17'W. Está ubicado en los Andes, con una altitud que varía desde 3.500 m s. n. m en sector de valles hasta 4.450 m s. n. m. en la cima del cerro homónimo. La ciudad de Copiapó se encuentra 145 km hacia el noroeste del área, y el límite internacional que separa Chile y Argentina está 20 km hacia el este del depósito (Figura 1.1).

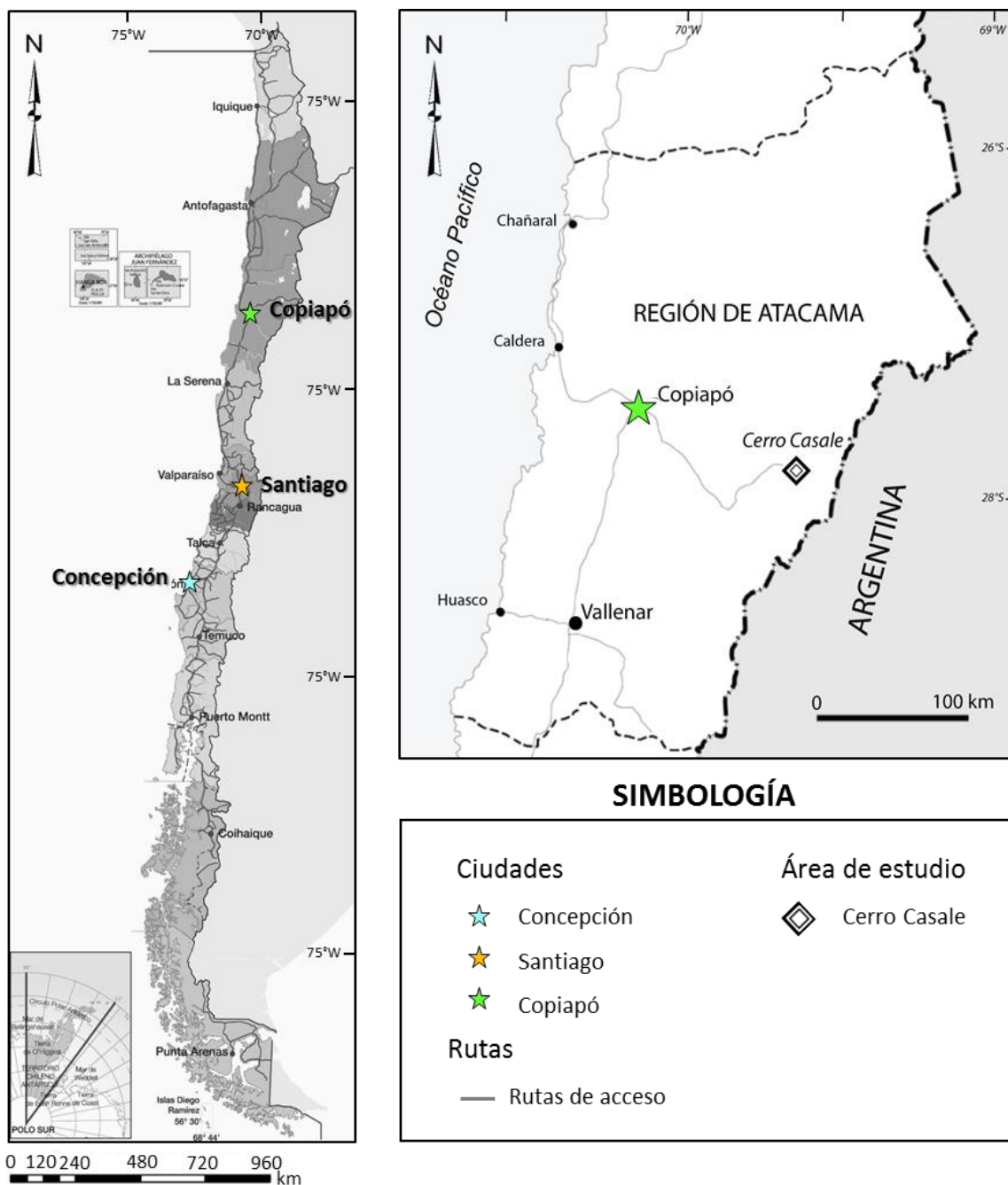


Figura 1.1: Mapa de ubicación y acceso al área de estudio. A la izquierda se muestra Chile continental y a la derecha, un acercamiento a la región donde se hace presente el área de estudio.

Para acceder, existe una ruta de 180 km desde Copiapó. Los primeros 25 km en dirección sur consisten en una carretera pavimentada que conecta con un camino de grava que se extiende 155 km hasta ingresar por el sector sureste de la faena. El tiempo total de locomoción desde Copiapó al sitio es de aproximadamente 6 horas debido a las normas y restricciones de velocidad.

El principal camino de tierra sirve además como una ruta de transporte internacional hacia Argentina y, por tanto, está en continua mantención. Desde Santiago es posible acceder vía terrestre por la Ruta 5 en dirección N por 870 km hacia la ciudad de Copiapó y luego según lo anteriormente indicado, aunque también está la posibilidad de acceder vía aérea mediante vuelos diarios proporcionados por diferentes aerolíneas chilenas hacia el Aeródromo Desierto de Atacama en las proximidades de la ciudad de Caldera, ubicado a tan sólo 50 km de Copiapó por la carretera Panamericana.

1.5. Metodología de Trabajo

1.5.1. Compilación bibliográfica

Recopilación y estudio bibliográfico de artículos científicos sobre génesis, mineralización y evolución hidrotermal de depósitos tipo pórfido, además de tesis, protocolos e informes internos para construir el estado del arte de esta investigación. Posteriormente, revisión de la base de datos histórica y reciente propiedad de Norte Abierto con énfasis en la campaña de exploración avanzada para el año 2019.

1.5.2. Reconocimiento del depósito

A través de un sistema de turnos en faena, se efectúan campañas de reconocimiento del yacimiento en superficie, complementando con el análisis y descripción de testigos de sondaje para comprender y desarrollar su comportamiento en profundidad. Se considera litología, alteración hidrotermal, mineralización, fallas y vetillas.

1.5.3. Obtención de muestras

Inicialmente se lleva a cabo un estudio en detalle de las bases de datos de análisis químicos, mineralógicos y petrográficos, complementando con modelos geológicos digitales disponibles para integrar sobre un mapa de capas digital las principales zonas de distribución de sulfuros a través del *software* Micromine. Se identifican y estudian tramos de interés en testigos de sondaje diamantino, para finalmente obtener un total de 20 muestras de roca representativas y diagnósticas para sulfuros y minerales asociados.

1.5.4. Preparación y análisis de muestras

Contempla el trabajo de preparación, envío y descripción de las muestras seleccionadas hacia los respectivos laboratorios, los análisis petrográficos y calcográficos, el estudio químico semi cuantitativo mediante SEM – EDS y la subsecuente interpretación e integración de los resultados obtenidos.

1.6. Trabajos Anteriores

Trabajos históricos referidos a la Franja de Maricunga y el Distrito Minero Casale, reúnen información acerca del origen y los factores geológicos principales que tuvieron relación con el emplazamiento de los distintos cuerpos mineralizados. La evolución volcánica de la Zona Sur de los Andes Centrales y los distintos episodios de actividad volcánica que definieron el frente volcánico Oligoceno-Mioceno de la Franja de Maricunga, son estudiados por Mpodozis *et al.* (1995) en base a las características geoquímicas de las rocas del Mioceno medio, con fuertes variaciones en el patrón de tierras raras, y altas razones de La/Yb, Sm/Yb entre otros.

Vila & Sillitoe (1991) indagan en la mineralización de Au y Cu introducida por la alteración potásica en el sector de Cerro Casale, la cual es sobrepuesta por el ensamblaje sericita – clorita. Las mayores concentraciones de Au se hayan en los *stockwork* de vetillas de cuarzo tempranas, mientras que los sulfuros en gran cantidad corresponden a piritita, sucedida por calcopiritita y trazas de bornita y molibdenita. A la vez, describe la ocurrencia de la mineralización aurífera como solución sólida, libre, incluida en piritita y magnetita, y conformando vetillas de cuarzo tempranas.

Sillitoe (2000) propone un modelo descriptivo generalizado que trata la evolución de sistemas tipo pórfido ricos en Au. Se basa en los rasgos geológicos principales que comparten depósitos de este estilo, sus edades, las características de las rocas intrusivas involucradas y brechas hidrotermales asociadas. Incorpora seis episodios de alteración hidrotermal y mineralización, y promueve el empleo de este tipo de estudios en materia de exploración y descubrimiento de nuevos depósitos.

Muntean & Einaudi (2001), realizan una descripción geológica general de los depósitos del distrito y definen los principales tipos de vetillas. Realizan estudios en inclusiones fluidas hipersalinas

asociadas a vetillas de cuarzo tipo A restringidas a zonas de alteración potásica y rocas intrusivas, obteniendo las condiciones de temperatura (~ 700 °C) y presión (200 - 400 bares) de los primeros fluidos hidrotermales.

Respecto a los antecedentes históricos sobre estudios mineralógicos composicionales de detalle en Cerro Casale, Palacios *et al.* (2001) analizaron granos de Au presentes en *stockwork* de vetillas tempranas de cuarzo y en la matriz de brechas hidrotermales, mediante el análisis químico por espectrometría dispersiva de rayos X utilizando un detector WDS (*Wavelength-Dispersive X-Ray Spectroscopy*) incorporado a una microsonda electrónica. De esta manera, registraron la presencia de Fe, Cu, As, Ag, Au y Bi, obteniendo un alto contenido en Ag (8 – 27 wt. %) y bajo en Cu (b.l.d. – 0.23 wt. %) en los granos de Au relativos a la zona de alteración potásica, mientras que para la zona de alteración sericita – clorita, se manifestó un descenso en el contenido de Ag y aumento en el de Cu (Ag: 1 - 9 wt. %; Cu 0,06 - 0,34 wt. %).

1.7. Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a todos y a cada uno de los miembros de Norte Abierto por la oportunidad, confianza y aporte en las distintas áreas que permitieron llevar a cabo este trabajo. A Mauricio, Pablo, Carlos y Don Pedro, por su guía y apoyo. A María Jesús, Gonzalo y Gilberto, por haberme acogido tan lejos, por alentarme y por su amistad, muchas gracias.

A mi profesor guía Shahrokh Rajabpour, por su conocimiento, apoyo y preocupación ante mi desempeño en cada una de las fases de este trabajo. Sin duda, su participación fue fundamental.

A la profesora Ursula Kelm, por su asistencia y coordinación en cada uno de los obstáculos que presentó esta investigación, y por recibirme en el inicio de mi proceso por la titulación.

Al personal del Instituto GEA, por su gestión y buena disposición en atender los distintos requerimientos de esta investigación. Especialmente a Nolvía, Ximena y Patricia.

A cada profesora y profesor del Departamento de Ciencias de la Tierra, por influir en mi desarrollo como geóloga y por brindarme su apoyo cuando lo necesité. También debo agradecer a los otros miembros del departamento, en especial a la Srta. Carolina y Don Luis.

A la familia grande que no comparte el ADN, pero sí la vida, gracias por la amistad sin condiciones, las incontables aventuras y por tanto apañe a lo largo de los años. Su apoyo fue fundamental durante el proceso de este trabajo.

A mi madre, por su infinita dulzura y apoyo incondicional. A mi padre, por su dedicación y esfuerzo incomparable, por creer siempre en mí y por alentarme en esta aventura académica. A mi hermanito, mi mejor amigo y mi cable a tierra, agradezco cada palabra de aliento, cada abrazo y cada risa. Son increíbles.

Por último, aunque no menos importante, a mi gran compañero, por su complicidad y por alentarme en cada una de las fases que completaron esta etapa.



2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Franja de Maricunga posee una extensión de 200 km de largo y 50 km de ancho, y se define como un cinturón metalogénico asociado al borde occidental del Altiplano de Copiapó entre los 26° y 28°S (Figura 2.1).

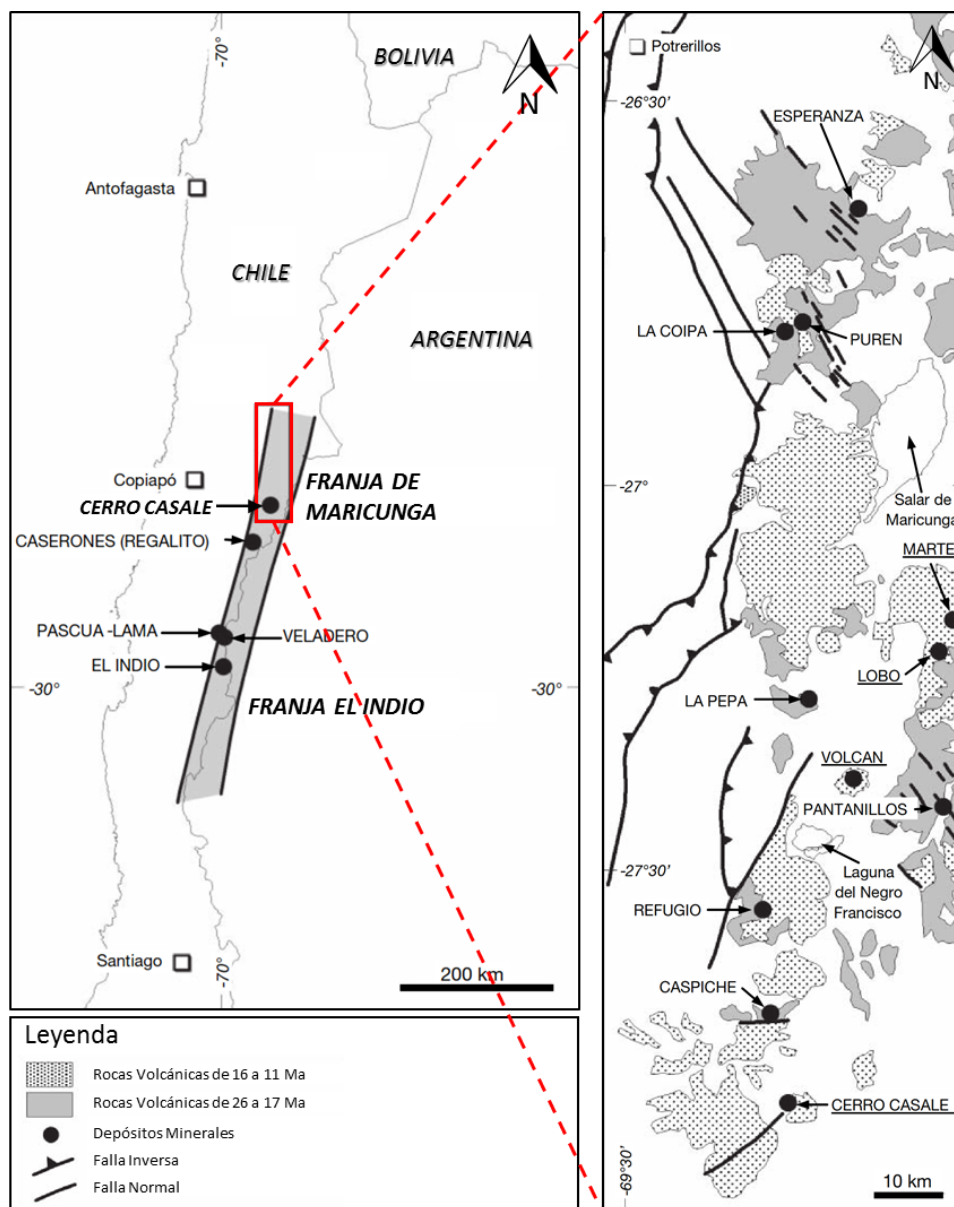


Figura 2.1: Mapa esquemático de la Franja de Maricunga, Región de Atacama, Chile. Modificado de Sillitoe *et al.*, 2013. Ilustra las características geológicas principales.

Se conforma por un basamento de rocas ígneas y sedimentarias del Paleozoico Superior, Mesozoico y Cenozoico Inferior (Muntean & Einaudi, 2001), y posee una cadena de volcanes de orientación N – NE de composición andesítica a dacítica con edades que van desde el Oligoceno superior a Mioceno superior (Muntean & Einaudi, 2001), destacando al Volcán Doña Inés (5.075 m), el Complejo Volcánico Cerros Bravos (5.292 m), el Complejo Volcánico Copiapó (6.040 m) y el Nevado de Jotabeche (5.880 m). Cabe destacar, que en ella se desenvuelven numerosas zonas de alteración hidrotermal hospedadas en rocas volcánicas y cuerpos intrusivos de escasa profundidad (Sillitoe *et al.*, 1991), cuya mineralización principal abarca oro, plata y cobre albergados en depósitos de índole epitermal y pórfido aurífero (Vila & Sillitoe, 1991).

2.1. Basamento Paleozoico-Mesozoico

Comprende desde el Paleozoico al Cenozoico inferior, registrando las rocas más antiguas como secuencias sedimentarias clásticas del Devónico – Carbonífero de la Formación Chinchas, las cuales fueron cubiertas de manera discordante durante el Pérmico inferior a medio por unidades volcánicas ácidas de la Formación Pantanos (Mercado, 1982), y que a su vez fueron intruídas por pórfidos riolíticos y granitoides del Pérmico superior – Triásico Inferior. Durante el Triásico, se depositan secuencias sedimentarias marinas y continentales con facies lacustres, evidenciando el desarrollo de cuencas de rift producto del quiebre de Gondwana (Suárez & Bell, 1992; Suárez & Bell, 1994). Toda la región oeste de la Franja de Maricunga fue cubierta por una transgresión marina durante el Jurásico Inferior (formaciones Lautaro, Asientos y Montandón; Cornejo *et al.*, 1993; Mpodozis *et al.*, 1995), junto con la posterior acumulación cretácica de secuencias sedimentarias marinas carbonatadas y areniscas rojas con intercalaciones de niveles evaporíticos y restos de dinosaurios (formaciones Quebrada Monardes y Agua Helada; Bell & Suárez, 1989), que cubrieron a las lavas triásicas. Un nuevo episodio volcánico ocurrió más tarde en la zona sur de la franja, correlacionándose con las unidades descritas anteriormente.

Producto del evento de deformación compresiva ocurrido hacia fines del Cretácico e inicios del Paleógeno (Fase Incaica I; Charrier *et al.*, 2007), se da paso al desarrollo de un arco magmático bajo condiciones tectónicas extensionales (Arévalo *et al.*, 1994). Las secuencias mesozoicas son deformadas, y la Precordillera de Copiapó es sitio de constantes episodios volcánicos con

erupciones de magmas calcoalcalinos potásicos. Los productos de este periodo dieron forma a complejos de domos y campos de calderas de colapso, compuestos por rocas volcánicas efusivas de composición andesítica, rocas piroclásticas y sedimentarias clásticas alteradas que actualmente afloran en las zonas de La Coipa, Cerros Bravos (Cornejo & Mpodozis, 1994; Arévalo *et al.*, 1994), Río Astaburuaga y Nevado de Jotabeche (Mpodozis *et al.*, 1995).

El periodo Eoceno – Oligoceno se ve involucrado en la migración hacia el este del frente magmático, con la drástica disminución de la actividad volcánica producto de la inversión tectónica de las estructuras extensionales desarrolladas en el arco precedente (Charrier *et al.*, 2009). La región oeste y noroeste de la Franja de Maricunga se ve afectada por una fase de deformación transpresiva asociada a las fallas Sierra Castillo y Agua Amarga (Charrier *et al.*, 2009), pertenecientes a la prolongación sur del Sistema de Fallas de Domeyko, produciéndose un complejo sistema estructural con fallas sinestrales entre la región de Potrerillos y La Coipa, que posteriormente fueron reactivadas de manera intermitente controlando el emplazamiento de los sistemas volcánicos de la franja durante el Oligoceno y Mioceno (Cornejo & Mpodozis, 1994). Por esta última razón se produjo el emplazamiento de importantes pórfidos cupríferos (El Salvador y Potrerillos; Mpodozis *et al.*, 1994), además de numerosos intrusivos sintectónicos hipabisales.

El Oligoceno inferior coincide con un periodo de muy baja velocidad de convergencia entre las placas Farallón y Sudamérica, cuyo magmatismo está dado principalmente por intrusivos ligados a los pórfidos cupríferos oligocenos emplazados a lo largo de las trazas del Sistema de Fallas de Domeyko (Mpodozis *et al.*, 1994).

2.2. Volcanismo Cenozoico

La actividad volcánica Cenozoica a lo largo de la Precordillera de Copiapó se caracterizó por una serie de eventos intermitentes durante el Oligoceno superior – Mioceno superior. Sus productos se extienden por más de 200 km entre el Salar de Pedernales (26°S) y Cerro Pulido (28°S) (Mpodozis *et al.*, 1994 y 1995), permitiendo el desarrollo de una gran cantidad de yacimientos epitermales de metales preciosos. Los centros volcánicos de mayor relevancia dentro del periodo de actividad son dos; el Complejo Cerros Bravos – Barros Negros – Esperanza cuya primera fase de actividad se asocia a depósitos de ignimbritas riódacíticas y domos dacíticos formadores de los

estratovolcanes coalescentes Cerros Bravos y Barros Negros, continuado por una segunda fase formadora del complejo de domos riódacíticos Esperanza en el flanco noreste de Cerros Bravos. El Complejo Volcánico La Coipa lo compone una serie de domos de composición dacítica a riolítica rodeados por depósitos piroclásticos inmediatamente al sur de Cerros Bravos (Kay *et al.*, 1994). Este último complejo hospeda uno de los distritos mineros más abundantes de la Franja de Maricunga. La ubicación de estos centros volcánicos está relacionada con el sistema de fallas de rumbo NW – WNW, las cuales estuvieron activas durante su emplazamiento (Mpodozis *et al.*, 1995). La actividad volcánica comenzó a disminuir durante el Mioceno inferior, fenómeno que coincide con una fase de deformación compresiva a nivel regional (Kay *et al.*, 1996), aunque se reanuda con vigor durante el Mioceno medio formando los complejos volcánicos de los cerros Cadillal, Jotabeche Norte, La Laguna, Villalobos, Pastillitos, Santa Rosa, Ojos de Maricunga y Doña Inés. Hacia fines del Mioceno, el volcanismo activo migró hacia la zona sur de la franja, emplazando los pórfidos auríferos Marte, Lobo y Cerro Casale (Mpodozis *et al.*, 1995). La actividad volcánica se centra en el Complejo Volcánico Copiapó, formado por un sistema de domos, estratovolcanes y extensos flujos piroclásticos de composición dacítica, los cuales reposan sobre el basamento principal de la Franja de Maricunga. Finalmente, el foco de magmatismo se desplaza al Nevado de Jotabeche, compuesto por un conjunto de coladas andesítico – basálticas eruptadas a través del sistema de fallas conjugadas NNE y NNW (Mpodozis *et al.*, 1995). Tras este evento, el frente volcánico migra hacia el este a los 5 Ma provocando el cese de actividad en la franja (Mpodozis *et al.*, 1991).

2.3. Tectónica Regional

La Franja de Maricunga se desarrolla entre dos segmentos tectónicos de la Cordillera de los Andes (Figura 2.2.). Entre los 20 a 6 Ma, ocurre un cambio progresivo del ángulo de subducción de la Placa de Nazca producto de una subducción inclinada de 30° en la zona norte del límite sur de la Zona Volcánica Central (ZVC), que luego evolucionó a una subducción plana de 10° a 15° en la zona de inactividad volcánica entre los 28° - 33°S (Barazangi & Isacks, 1976), hasta culminar a los 6 – 5 Ma, reflejando un cambio en la estratigrafía y geoquímica de las rocas volcánicas (Mpodozis *et al.*, 1995).

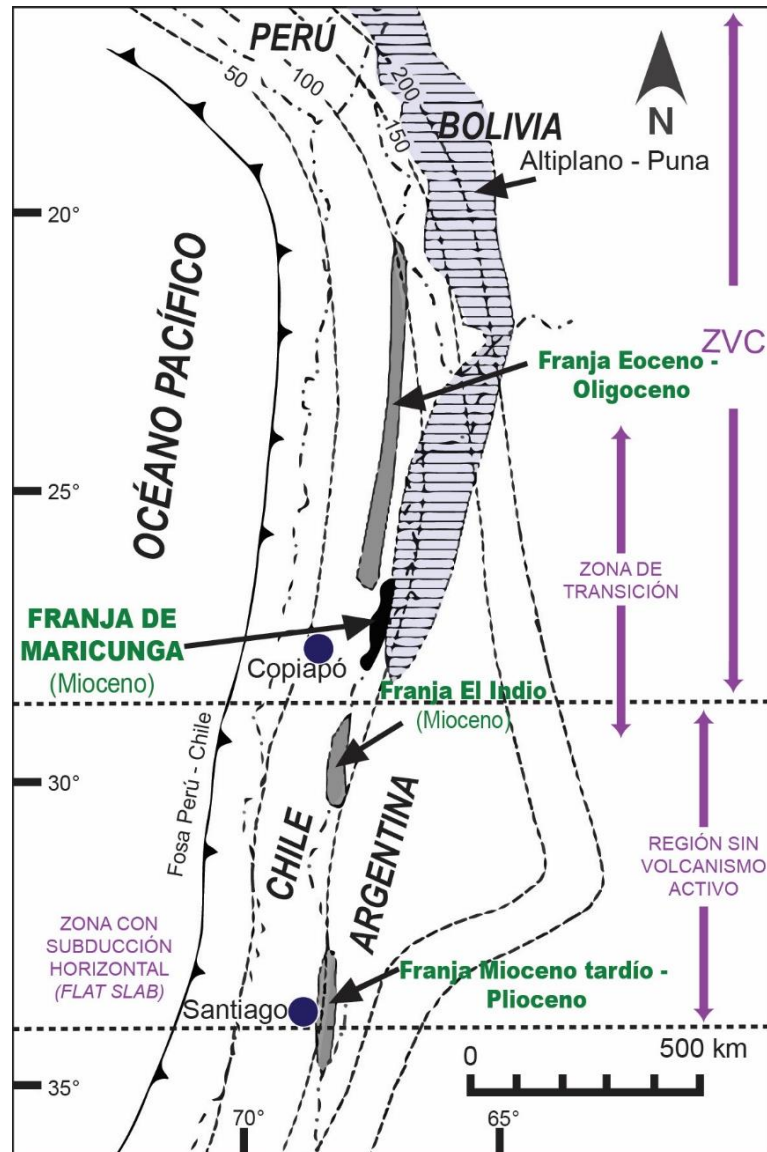


Figura 2.2: Marco tectónico regional. La Franja de Maricunga se ubica dentro de la zona de transición del ángulo de subducción. La línea segmentada representa la profundidad en kilómetros de la zona de Benioff. Modificado de Muntean & Einaudi (2001).

Los principales dominios estructurales son NNE, NW y en menor medida NS. El primero, de edad Cretácico medio – Mioceno medio (Vila & Sillitoe, 1991), corresponde a fallas inversas que dan forma a un sistema de *Horst* y *Graben* definiendo rasgos morfológicos, la distribución de diferentes unidades de roca y el desarrollo de cuencas cerradas como el Salar de Maricunga y la Laguna del Negro Francisco. El sistema NW, se vincula con el desarrollo espacial de las distintas

zonas de alteración hidrotermal y anomalías geoquímicas, y la intersección de este sistema junto al NNE, controlaría los principales focos de mineralización y alteración (Vila & Sillitoe, 1991). En cuanto a las fallas menores NS, se asocia la ubicación de los centros volcánicos cenozoicos, especialmente en la intersección con las fallas inversas NNE (Mercado, 1982).

2.4. Franja de Maricunga

Definido como un cinturón metalogénico estrecho con numerosas zonas de alteración hidrotermal hospedadas en rocas volcánicas y cuerpos intrusivos de poca profundidad (Sillitoe *et al.*, 1991). Vila & Sillitoe (1991) reconocen dos episodios asociados a los eventos volcánicos terciarios que dieron forma a la Franja de Maricunga, y que fueron de vital importancia para el desarrollo de la alteración hidrotermal y mineralización, a los que denominaron sub franja oeste y sub franja este (Figura 2.3). La sub franja oeste, datada entre los 24 y 20 Ma (incluye a La Coipa de 17 Ma), hospeda en el sector norte depósitos epitermales Ag – Au de alta sulfuración como Esperanza y La Coipa, mientras que en la parte sur predominan los depósitos de tipo pórfido Au – Cu asociados a stocks subvolcánicos como Refugio (Vila & Sillitoe, 1991).

La sub franja este, datada entre los 14 y 13 Ma, se encuentra al este del Volcán Copiapó, y la representan pórfidos auríferos tales como Marte, Lobo y Cerro Casale (Vila & Sillitoe, 1991). Respecto a los pórfidos auríferos de la franja, estos contienen dos principales tipos de alteración hidrotermal; la potásica y argílica intermedia mientras que, de manera local, manifiestan las alteraciones propilítica, fílica y argílica avanzada. Los sistemas epitermales de alta sulfuración se caracterizan principalmente por alteración de tipo argílica avanzada (Vila & Sillitoe, 1991). Cabe mencionar que, en la mayor parte de los casos, los sistemas epitermales de alta sulfuración se superponen a los sistemas porfíricos registrados, pero es usual que se encuentren total a parcialmente erosionados.

Las distintas concentraciones de Au asociadas a pórfidos como Cerro Casale, ocurren de forma nativa, ya sea como diseminado, en vetillas de cuarzo o como inclusiones en pirita y magnetita (Vila & Sillitoe, 1991).

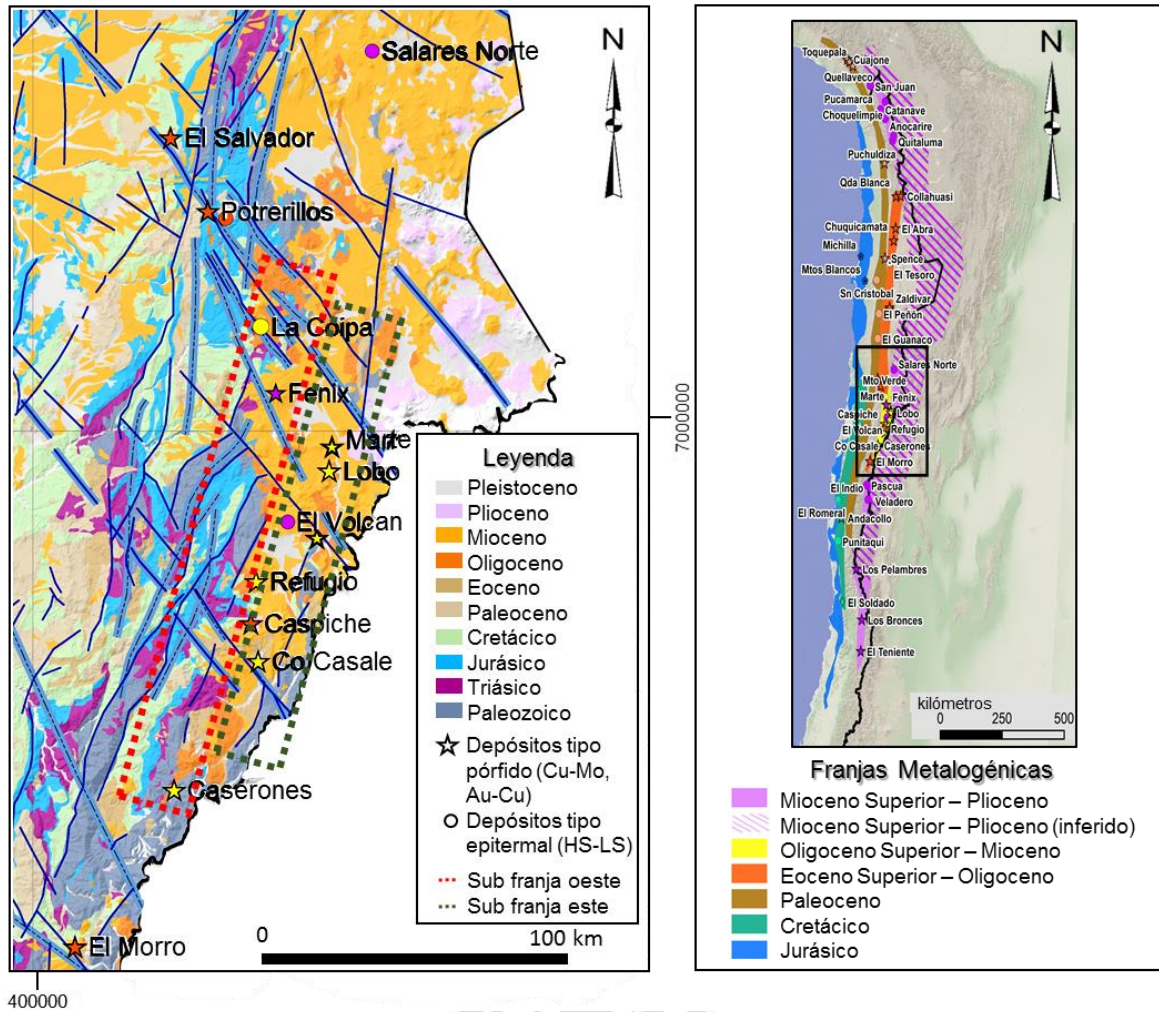


Figura 2.3: Marco geológico con la subdivisión propuesta por Vila & Sillitoe (1991) para Franja de Maricunga.

3. MARCO GEOLÓGICO LOCAL

El distrito minero Casale se encuentra al SW de la Franja de Maricunga, donde se desarrollan diversas unidades de rocas volcanoclásticas, intrusivas porfídicas, brechas y unidades sedimentarias recientes (Figura 3.1). En esta zona existen depósitos menores como Estrella, Luciano, Román y Jotabeche principalmente. El pórfido Au – Cu Cerro Casale es resultado de múltiples intrusiones de composición diorítica a granodiorítica (Vila & Sillitoe, 1991; Mpodozis *et al.*, 1995; Muntean & Einaudi, 2001) controladas por *trends* estructurales WNW – ESE, NW – SE y NE – SW, que además interfieren en la disposición de domos volcánicos y otros complejos a lo largo de la región (Mpodozis *et al.*, 2018). Tanto el patrón vertical y horizontal de alteración como las áreas mineralizadas y la orientación de vetillas responden a este mismo control. Los cuerpos intrusivos en el distrito presentan edades entre los 25 y 13 Ma (Mpodozis *et al.*, 2018), e intruyen a secuencias volcánicas de composiciones basálticas a riolíticas del permotriásico al mismo tiempo que subyacen en inconformidad rocas volcánicas epiclásticas del Paleoceno – Oligoceno y a complejos volcánicos remanentes de composición andesítica a dacítica del Mioceno – Pleistoceno (Figura 3.2). Por lo general, estos cuerpos enseñan texturas porfídicas con diferentes cantidades de feldespatos, anfíboles y fenocristales de biotita, mientras que sus principales diferencias radican en el contenido de vetas, el patrón de alteración, los grados de Au – Cu y, en algunos casos, la cantidad de fenocristales de cuarzo. El marco geológico local está ampliamente documentado en el reporte interno, denominado *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020*, desarrollado por el equipo de geología de Norte Abierto durante los años 2019 y 2020.

Las rocas más antiguas registradas no se exponen en superficie, aunque sí aparecen en diversos sondajes y áreas circundantes al depósito. Se trata de la secuencia volcanoclástica bimodal (RVS: *Rhyolitic volcanoclastic secuencia*), con ~ 500 m de facies piroclásticas, riolíticas y dacíticas de edades 206 – 200 Ma (U – Pb en circones), cubiertas por la secuencia volcánica basáltico andesítica (BAVS: *Basaltic Andesitic Vocanoclastic Secuencia*) de 210 m de espesor, que a la vez se encuentra intercalada con rocas piroclásticas félsicas de 105 m de espesor máximo (FVS: *Felsitic Volcanoclastic Secuencia*). La unidad BAVS está cubierta en inconformidad por rocas volcanosedimentarias de ~ 775 m perteneciente a los Estratos de Río Nevado (30 – 26 Ma;

Mpodozis *et al.*, 2018), con afloramientos en Cerro Casale y en el cerro Catedral, siendo además subdividida en una facie epiclástica (ES: *Epiclastic Secuence*) y en una piroclástica (DVS: *Dacitic Volcanoclastic Secuence*).

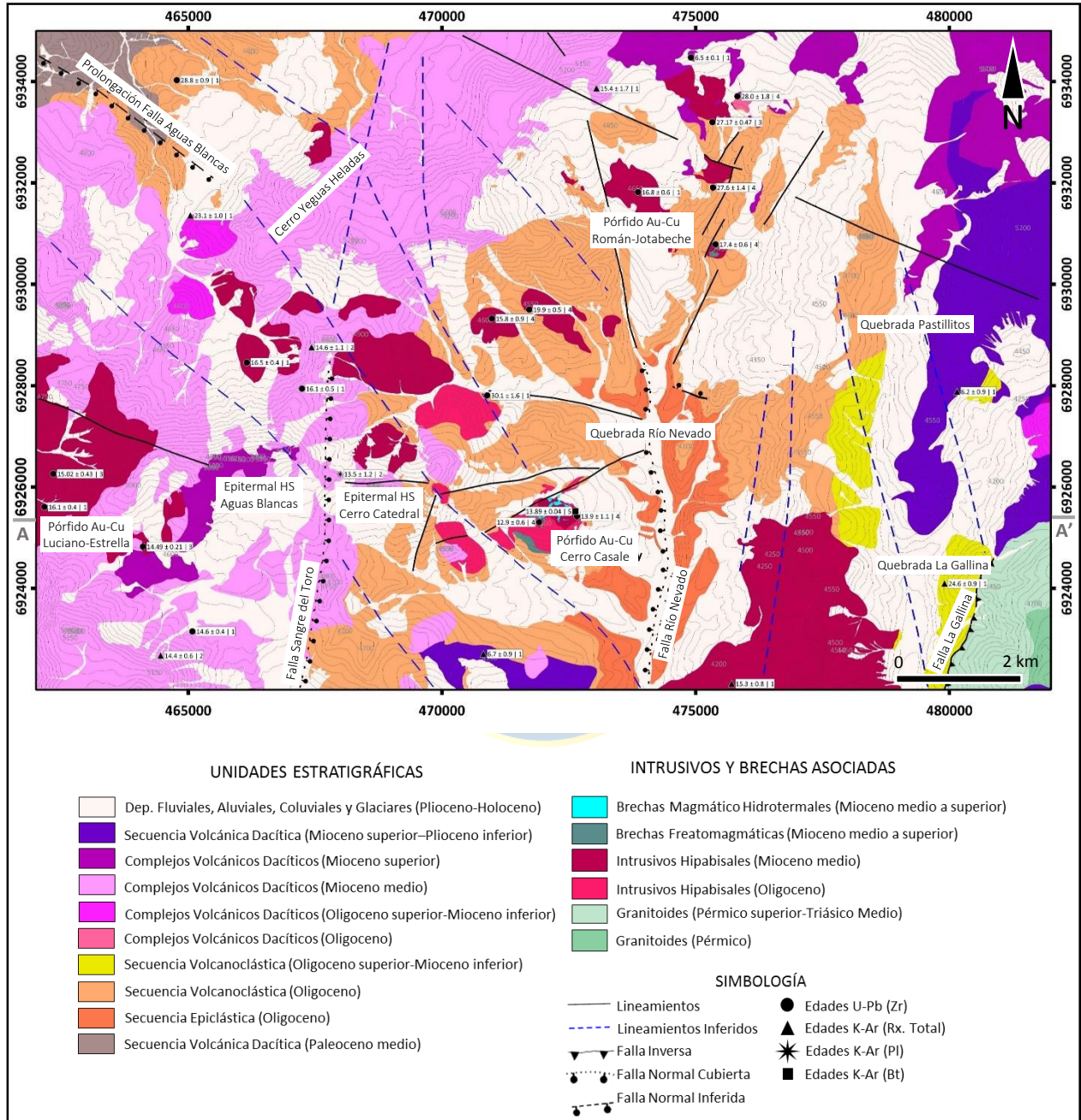


Figura 3.1: Geología de la zona Valle Río Nevado donde se encuentra el pórfido Au-Cu Cerro Casale y otros. Abreviaciones: Bt: biotita; HS: *high sulfidation*; Pl: plagioclasa; Rx: roca; Zr: circón. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

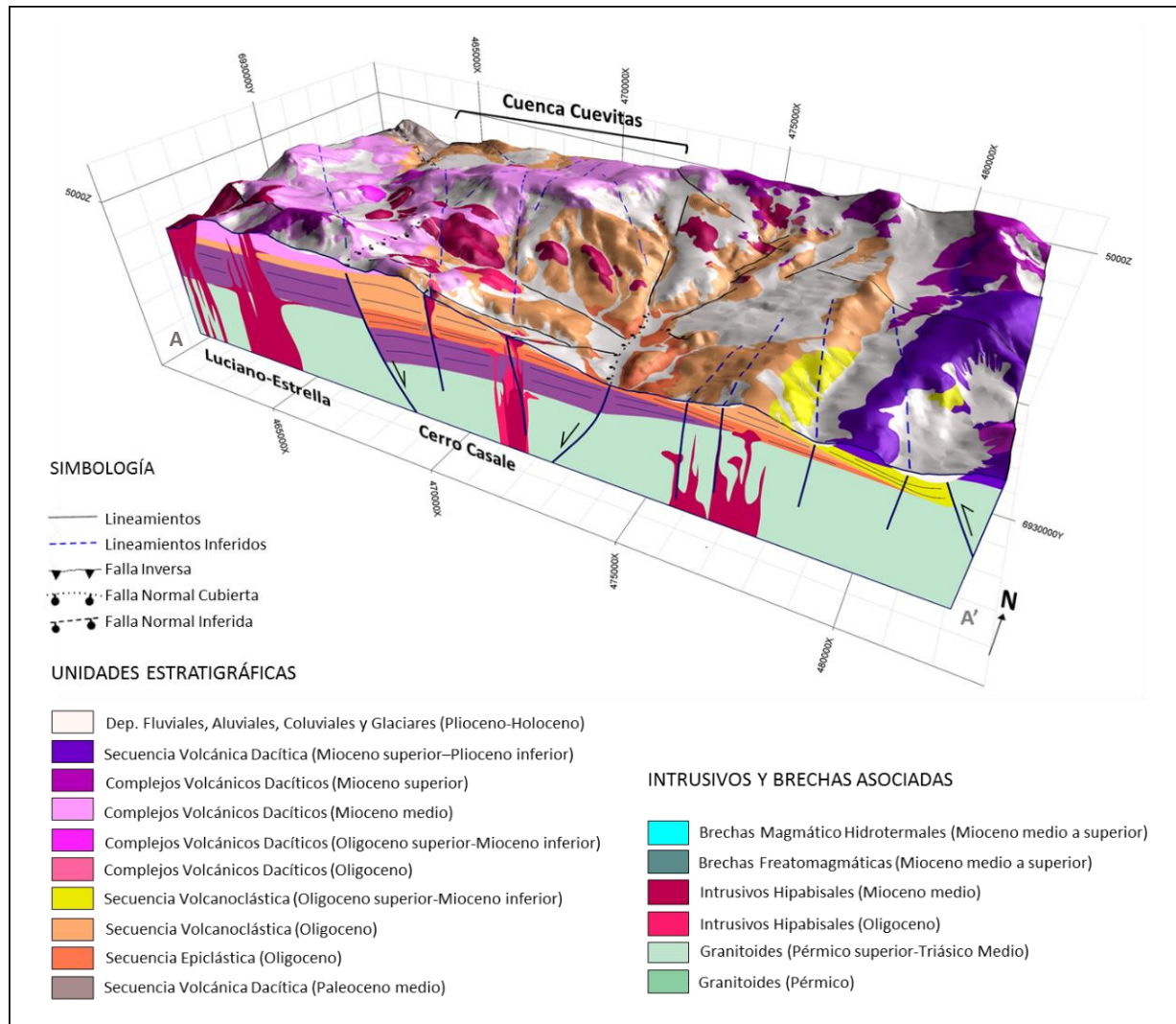


Figura 3.2: Perfil esquemático A – A' de la Cuenca Cuevitas asociado a la figura 3.1. Emplazamiento del pórfido Cerro Casale en profundidad. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

Cuerpos de domos menores de composición dacítica a riolítica de edad Miocena se exponen al NW y SW de Cerro Casale, formando parte del evento magmático post mineral que aconteció a lo largo de la región. Todas las unidades mencionadas son parcialmente cubiertas por una secuencia sedimentaria de orígenes fluvial, aluvial, coluvial y glaciar (OVBN: *Overburden*), observada en los sectores más deprimidos de la topografía, y en sectores de laderas con alto índice de erosión. Respecto a las distintas unidades intrusivas (Figura 3.3), estas son descritas desde la más antigua a la más joven según el análisis de los eventos magmático hidrotermales presentes, clasificados como unidades preminerales, interminerales y tardío mineral.

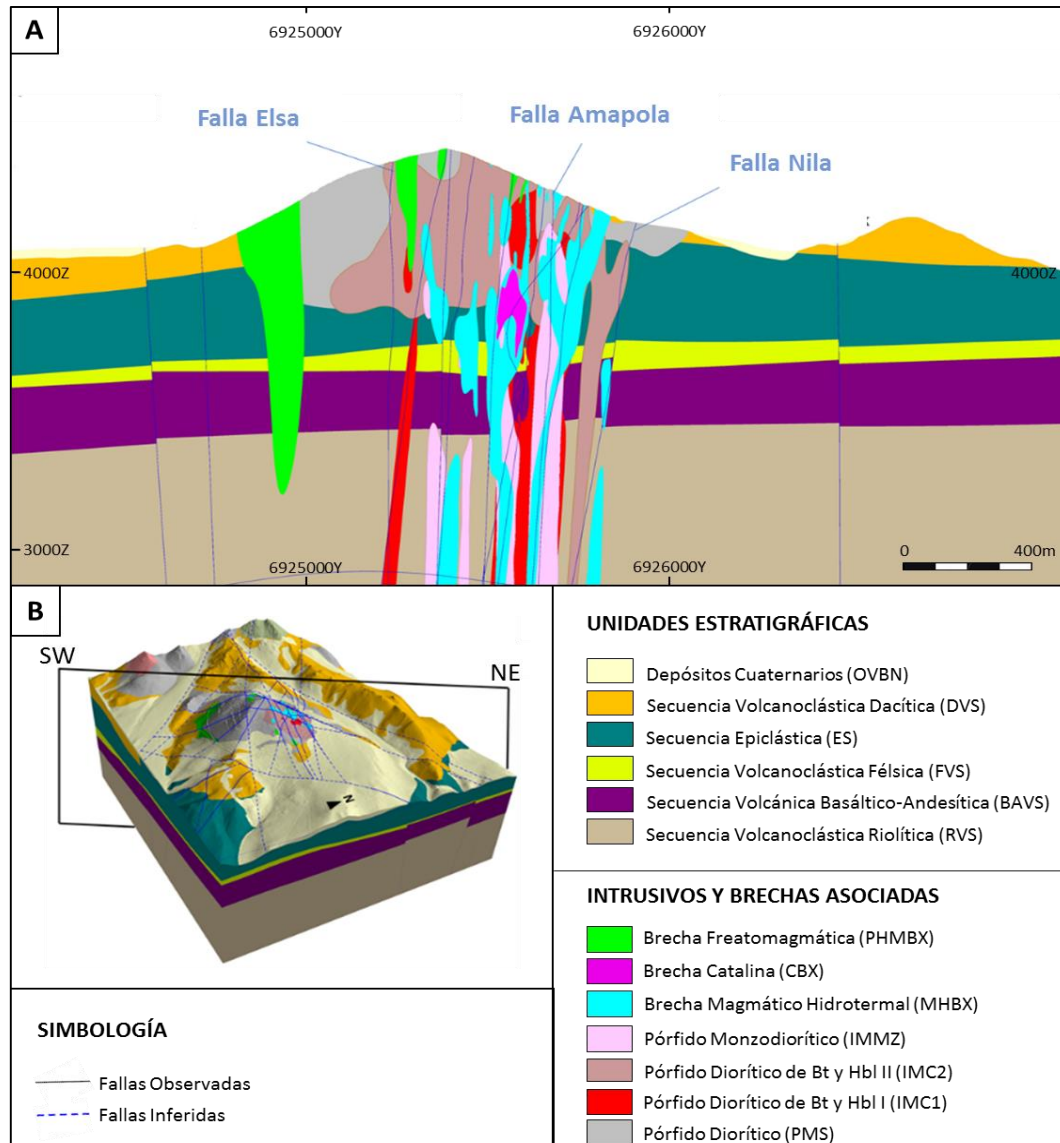


Figura 3.3: Distribución espacial de las distintas unidades que conforman el Pórfido Au – Cu Cerro Casale. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020*. A) Perfil esquemático de las distintas unidades litológicas que conforman el yacimiento en profundidad. B) Esquema tridimensional del cual se extrae el perfil mencionado y su relación con la topografía y otras características geológicas de relevancia.

El intrusivo de mayor envergadura corresponde al más antiguo, y es clasificado como un pórfido diorítico de escasa mineralización (PMS: *Preminal Sill*), el cual es intruído por 4 pulsos que, del más reciente al más antiguo, presentan composiciones diorítica a monzodiorítica respectivamente; IMC1: *Intermineral Crowded 1*; IMC2: *Intermineral Crowded 2*; IMMZ: *Intermineral Monzodiorte* y LMOT: *Late Mineral Open Texture*. Estos últimos se caracterizan por adoptar geometrías de lacolito o dique, y tener contenidos variables de fenocristales de

plagioclasa, hornblenda y biotita en una matriz fina. El contenido en vetillas de cuarzo tempranas disminuye desde el evento más antiguo al más reciente, siendo una característica clave en la concentración de Au y Cu.

3.1. Unidades Estratigráficas

3.1.1. Secuencia Volcánica Riolítica (RVS)

Corresponde al nivel inferior del basamento de Cerro Casale, constituida por tobas de composición riolítica (tobas cristalinas, líticas y vítreas) y riolitas de textura eutaxítica (Figura 3.4). Generalmente hospedan distintos tipos de vetillas de cuarzo, presentan tonalidad rosa, abundante vidrio volcánico, y una intensa alteración potásica. No existen registros más antiguos a esta unidad e infrayace a la secuencia volcánica basáltico andesítica (BAVS), además de ser intruída por los pórfidos miocenos y brechas asociadas a estos. Posee una datación U – Pb en circones de $202 \pm 5,8$ y $206,8 \pm 7,1$ Ma, y podría estar correlacionada con el Pérmico superior – Triásico Inferior del Complejo Volcano – Plutónico de Río Cachitos, o con el Triásico Superior de Estratos de Aguas Blancas (Mpodozis *et al.*, 2018).

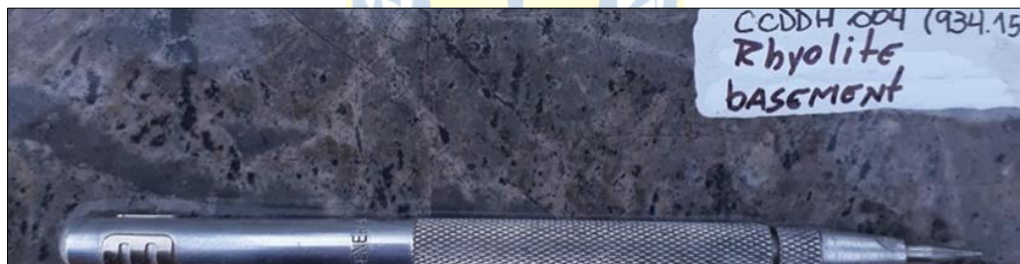


Figura 3.4: Toba vítrea de composición riolítica y textura eutaxítica. Presenta fragmentos de tamaño lapilli y ceniza.

3.1.2. Secuencia Volcánica Basáltico Andesítica (BAVS)

Rocas grises oscuro de composición basáltico andesítica y texturas porfídicas, pilotaxíticas (Figura 3.5A), amigdaloidales (Figura 3.5B) y afaníticas (Figura 3.5C). Contienen fenocristales de olivino y algunos niveles de piroclastos y rocas sedimentarias intercaladas. Se depositan en conformidad sobre la unidad volcánica riolítica (RVS), e infrayacen en conformidad a la secuencia volcanoclástica félsica (FVS). Está intruída por los pórfidos miocenos y brechas asociadas. La afecta una alteración potásica con alto contenido en biotita, y es hospedante de vetillas de cuarzo.

Puede correlacionarse con el Pérmico superior – Triásico Inferior del Complejo Volcano – Plutónico de Río Cachitos, o con el Triásico Superior de Estratos de Aguas Blancas (Mpodozis *et al.*, 2018).

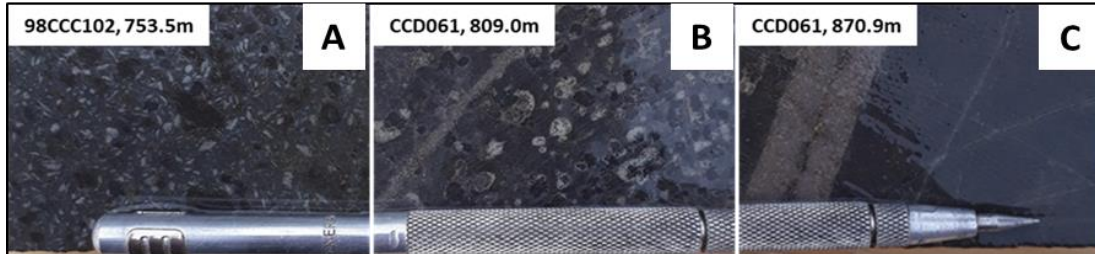


Figura 3.5: Muestras obtenidas desde sondajes para caracterizar a la secuencia volcánica basáltico andesítica. A) Andesita con textura pilotaxítica, porfirítica y melanocrática, con cúmulos de bt y mt; B) Andesita con amígdalas llenas de sílice – yeso. C) Andesita con textura afanítica y abundante bt – mt disseminada y cortada por vetillas tipo A.

3.1.3. Secuencia Volcanoclástica Félsica (FVS)

Rocas piroclásticas de composición dacítica a riolítica con textura eutaxítica e intercalaciones de sedimentos volcanogénicos (Figura 3.6A), clasificadas como tobas de ceniza y lapilli con componente lítico evidenciado en fragmentos de riolitas y clastos silicificados, y componente cristalino definido por fenocristales de plagioclasa y cuarzo (Figura 3.6B). La alteración principal es potásica con alto contenido en feldespato y una superposición de sericita – clorita. Con una potencia calculada de ~ 105 m, esta unidad se deposita en conformidad por sobre la secuencia volcánica basáltico andesítica (BAVS), y es correlacionada con el nivel superior del Basamento Pérmico Superior – Triásico Inferior del Complejo Volcano – Plutónico de Río Cachitos o, con el Triásico Superior de Estratos Aguas Blancas (Mpodozis *et al.*, 2018).

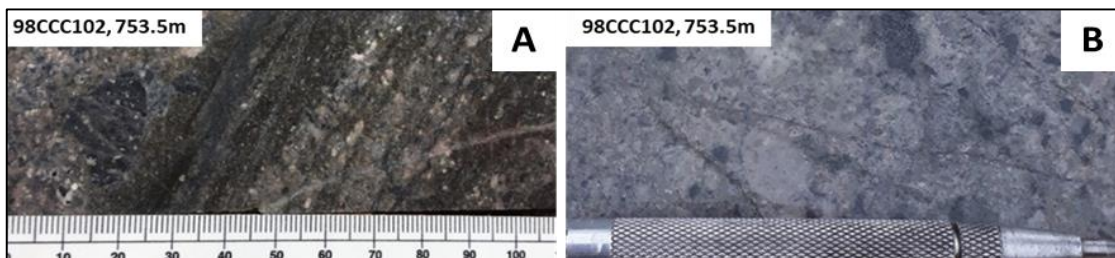


Figura 3.6: Muestras obtenidas desde sondajes para caracterizar a la secuencia volcánica félsica. A) Toba cristalina gradada con niveles arenosos intercalados. B) Toba cristalina de lapilli con algunos fragmentos líticos y cavidades rellenas de cuarzo. La alteración potásica es predominante para estas rocas.

3.1.4. Secuencia Epiclástica (ES)

Rocas detríticas de tonalidades gris a gris verdoso y textura clástica, con tamaños de grano grava y arena, mas niveles intercalados de limo, y alteración potásica con gran cantidad de biotita. Se compone de paraconglomerados y ortoconglomerados de granulometría variada, matriz soportados (Figura 3.7), y por clastos subangulares a subredondeados de tamaños de 5 a 80 mm. Estos fragmentos corresponden a riolitas y dacitas de la secuencia volcánica riolítica (RVS), y andesitas de la secuencia volcánica basáltico andesítica (BAVS). Posee una potencia calculada de ~ 375 m, sobreyace en disconformidad a la secuencia volcanoclástica félsica (FVS) e infrayace en conformidad a la secuencia volcanoclástica dacítica (DVS). La unidad es correlacionada con facies sedimentarias del Oligoceno de Estratos de Río Nevado (Mpodozis *et al.*, 2018). Finalmente, es intruida por los pórfidos miocenos y brechas asociadas.



Figura 3.7: Paraconglomerado de color gris oscuro, matriz soportado, polimíctico y pobremente seleccionado perteneciente a la secuencia epiclástica. Formado por clastos subredondeados de 1 a 5 cm provenientes de la unidad BAVS y RVS.

3.1.5. Secuencia Volcanoclástica Dacítica (DVS)

Conformada por pumicitas, tobas líticas y brechas volcánicas andesíticas a dacíticas (Figura 3.8). Poseen fragmentos juveniles y fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y ocasionalmente cuarzo en una masa vítrea. Ocasionalmente, presentan pequeñas intercalaciones de tobas de ceniza y sedimentos volcanogénicos. Se encuentran afectadas por un gran halo de alteración argílica intermedia. La secuencia posee un espesor medio de 120 m, se expone en superficie y está depositada en conformidad por sobre la secuencia epiclástica (ES). Es intruida por pórfidos miocenos y brechas asociadas, y se puede correlacionar con facies piroclásticas del Oligoceno de Estratos de Río Nevado (Mpodozis *et al.*, 2018).

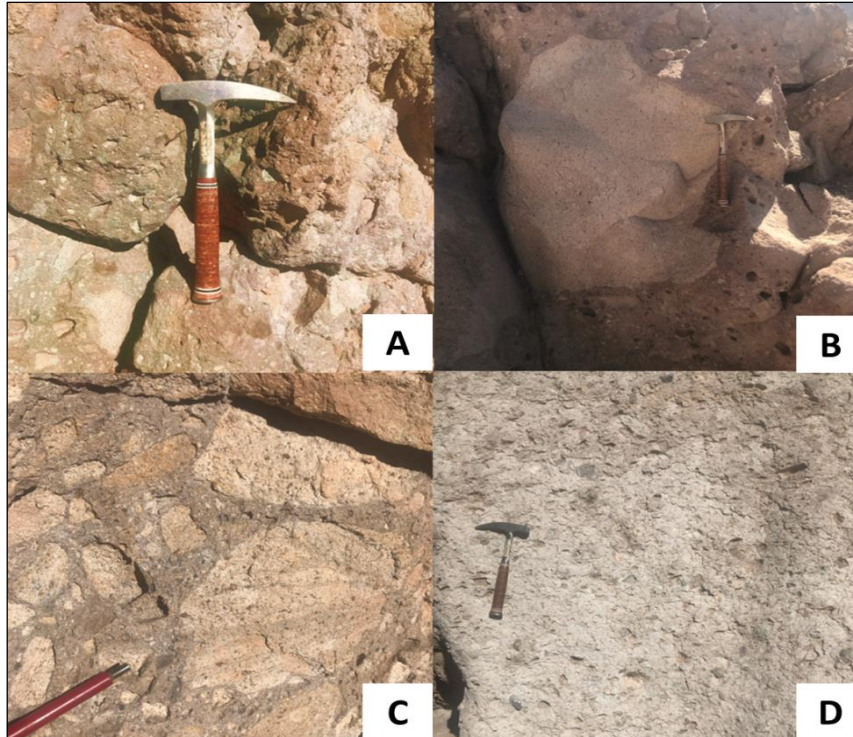


Figura 3.8: Afloramientos con rocas de la secuencia volcánica dacítica. A) Toba lítica de composición polimíctica matriz soportada. B) Toba lítica de composición polimíctica matriz soportada. Presenta fragmentos de hasta 1 m de diámetro. C) Aglomerado monomíctico con fragmentos sub redondeados. D) Toba lítica a vítrea.

3.1.6. Depósitos No Consolidados (OVBN)

Gran parte del área de Cerro Casale se encuentra cubierta por depósitos aluviales y coluviales del Holoceno (OVBN: *Overburden*). Además, en el sector NW se evidencian depósitos de tipo morrena glaciar.

3.2. Unidades Intrusivas

3.2.1. Pórfido Diorítico Premineral (PMS)

Consiste en unos pocos cuerpos intrusivos de gran volumen distribuidos ampliamente dentro del depósito. La falla Nila (Figura 3.3A) es la estructura de control principal para su geometría en forma de *sill*. Carece de vetillas tempranas de cuarzo y mineralización de alteración, y presenta fragmentos de la roca de caja hacia los márgenes. Esto último sugiere una temporalidad previa al desarrollo del depósito, confirmada por ensayos U – Pb que arrojan edades de $25,64 \pm 0,64$ Ma;

lo cual es más antiguo que cualquier otra edad radiométrica en Cerro Casale (Chen *et al.*, 2010; Cáceres, 2015; Mpodozis *et al.*, 2018). De textura porfírica (Figura 3.9A), y en ocasiones holocristalina e hipidiomórfica. Su masa fundamental es de grano fino con plagioclasa, menores cantidades de ferromagnesianos, e importante reemplazo de cuarzo secundario y minerales de alteración como biotita, clorita, sericita y caolinita.

3.2.2. Pórfido Diorítico Intermineral de Bt y Hbl I (IMC1)

La intrusión de este cuerpo junto a los tres mencionados a continuación, son responsables del origen y mineralización del depósito Cerro Casale, adquiriendo la denominación intermineral. En general, son cuerpos de bajo volumen, con abundantes vetillas de cuarzo y una composición diorítica a granodiorítica desde el más antiguo al más reciente. El intrusivo IMC1 se concentra al centro del depósito, presentando geometría de dique y una orientación WNW a NW. Su color varía entre marrones, verdes y grises, producto de la alteración potásica con alto contenido en biotita, y la sobreimposición de sericita – clorita. Posee un *stockwork* de vetillas de cuarzo tipo A y B, otorgando los mayores grados de Au (~ 1 g/t). Presenta textura holocristalina, hipidiomórfica, leucocrática y porfírica. La masa fundamental es afanítica compuesta por fenocristales de plagioclasa, hornblenda y biotitas mal preservadas. En la periferia de este cuerpo se observan brechas ígneas, fragmentos de la unidad PMS y asimilación de la roca de caja.

3.2.3. Pórfido Diorítico Intermineral de Bt y Hbl II (IMC2)

Cuerpo con geometría de lacolito, restringido al flanco norte del depósito y controlado por fallas de orientación WNW y ESE. Debido a relaciones de corte y contacto (Figura 3.9B), se reconoce como el segundo pulso magmático intermineral. A pesar de presentar texturas y composición equivalentes a IMC1, presenta baja abundancia en vetillas de cuarzo tipo A (<3 %) y, por consiguiente, una baja concentración de Au (0,5 g/t). Existe evidencia de brechización hacia los márgenes del pórfido, con la asimilación de fragmentos intrusivos, volcánicos y sedimentarios.

3.2.4. Pórfido Monzodiorítico Intermineral (IMMZ)

Esta unidad no aflora en superficie, aunque se distingue e interpreta a través de sondajes como cuerpos menores con forma de dique (Figura 3.3A). La sobreimposición de una alteración potásica

con alto contenido en feldespato potásico, la incipiente abundancia en vetillas tempranas de cuarzo y las relaciones de contacto, la definen como el tercer evento intermineral. Posee un control estructural WNW – ESE. Contiene bajo contenido de Au ($\sim 0,3$ g/t). Presenta texturas equivalentes a los pórfidos IMC1 e IMC2 (Figura 3.9C), y se compone por fenocristales de plagioclasa, hornblenda y biotita inmersos en una masa fundamental feldespática de grano fino con plagioclasa y múltiples espacios afectados por una silicificación tardía. Las brechas asociadas se encuentran en la periferia de estos cuerpos, asimilando fragmentos de unidades más antiguas.

3.2.5. Diorita Tardío Mineral de Biotita y Hornblenda (LMOT)

Último evento intrusivo precursor de mineralización, cuya temporalidad se basa en relaciones de corte con los intrusivos más antiguos (Figura 3.9D), la ausencia de vetillas tempranas de cuarzo y el bajo contenido en Au ($\sim 0,1$ g/t). Se trata de diques estrechos de orientación NW – SE que se extienden hacia la mitad norte de Cerro Casale. Distintos ejemplos de esta unidad enseñan una textura holocristalina, hipidiomórfica y porfírica, mientras que la masa fundamental es afanítica y de color oscuro, compuesta por fenocristales de plagioclasa, hornblenda y biotita.

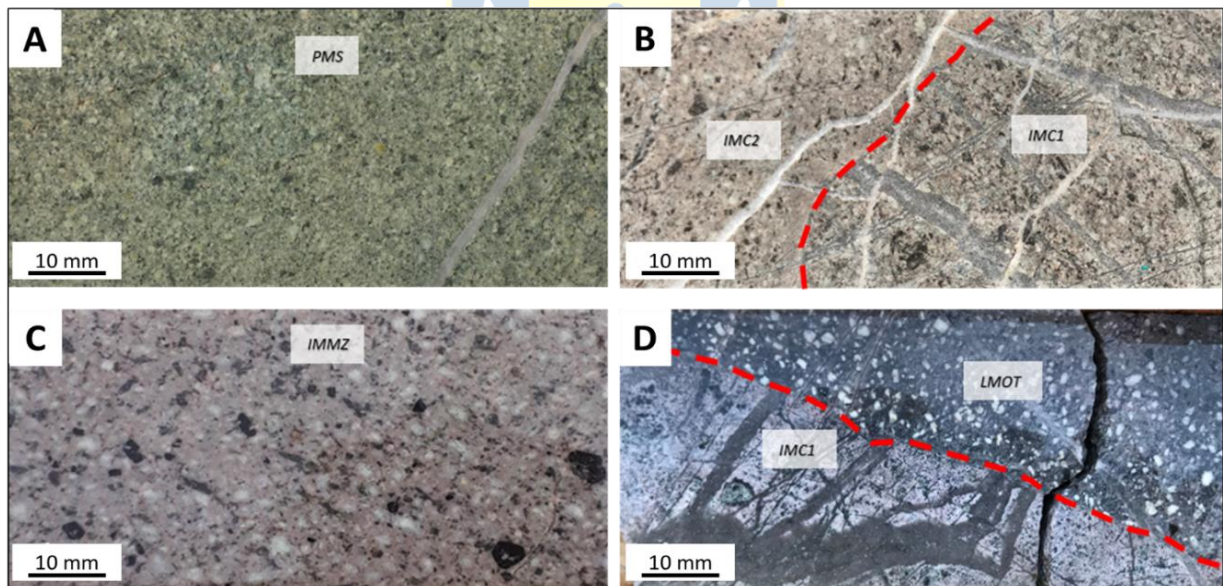


Figura 3.9: Texturas principales y relaciones de corte para las unidades intrusivas: A) Pórfido diorítico (PMS). B) Contacto entre pórfido diorítico IMC1 e IMC2. C) Pórfido monzodiorítico (IMMZ). D) Relación de contacto entre el pórfido diorítico IMC1 y la diorita de hbl y bt LMOT. Abreviaciones: bt: biotita; hbl: hornblenda; IMC: *intermineral crowded*; IMMZ: *intermineral monzodiorite*; LMOT: *late mineral open texture*; PMS: *premineral sil.*

3.3. Cuerpos de Brecha

A través del depósito, los cuerpos de brecha se emplazan durante y posterior a la evolución del sistema magmático hidrotermal. Desde el centro del depósito hacia la zona sur del mismo, se encuentra un mayor volumen en brechas magmático hidrotermales asociadas al emplazamiento de los intrusivos ya mencionados (MHBX: *Magmatic Hydrothermal Breccia*; CBX: *Catalina Breccia*), pero también hay evidencia de actividad freatomagmática (PHMBX: *Phreatomagmatic Breccia*) que marcaría la etapa más tardía del sistema hidrotermal. Se distribuyen según controles estructurales dados por las fallas WNW – ESE y en menor medida, las fallas NE – SW.

3.3.1. Brecha Magmático Hidrotermal (MHBX)

Complejo de brechas más abundante el cual se extiende en dirección WNW – ESE hacia el flanco norte de Cerro Casale desde superficie hacia profundidad. Corresponde a brechas monomíticas a polimíticas matriz o cemento soportadas, cuya variedad de caracteres se debe a la compleja evolución de los fluidos involucrados. Presenta distintos tipos de texturas, aunque sólo de manera local posee textura fragmental (Figura 3.10). El contenido en fragmentos es de 60 – 70 % con una matriz/cemento de hasta 40 % en abundancia que comúnmente se haya reemplazada por feldespatos potásico, cuarzo secundario y biotita. Presenta clastos angulares a sub - redondeados de pórfidos IMC1, IMC2, IMMZ y LMOT, y vetillas de cuarzo tempranas asociadas a estos. En menor cantidad se observan clastos de toba, conglomerados, rocas volcánicas félsicas y fragmentos afaníticos de composición andesítico basáltica. La temporalidad de este tipo de brechas es durante y posterior al emplazamiento de los pórfidos interminerales, según relaciones de corte, y a partir de la presencia de fragmentos de vetillas relativas a estos.



Figura 3.10: Brecha magmático hidrotermal de textura fragmental, clastos subredondeados y vetillas tempranas de cuarzo.

3.3.2. Brechas Freáticas y Freatomagmáticas (PHMBX)

Brechas producto de explosiones violentas y del fracturamiento freático posterior a la etapa de brechización hidrotermal (Figura 3.11), lo cual Sillitoe (2010) define como el proceso de *flashing*. Se restringen a las zonas apicales del depósito, próximos al ambiente epitermal. Presentan una matriz de harina de roca sin mineralización ni vetillas, compuesta por líticos milimétricos y cristales fragmentados de feldespato. Las brechas freatomagmáticas pueden contener fragmentos de juveniles, lo cual las distingue de las de tipo freático.

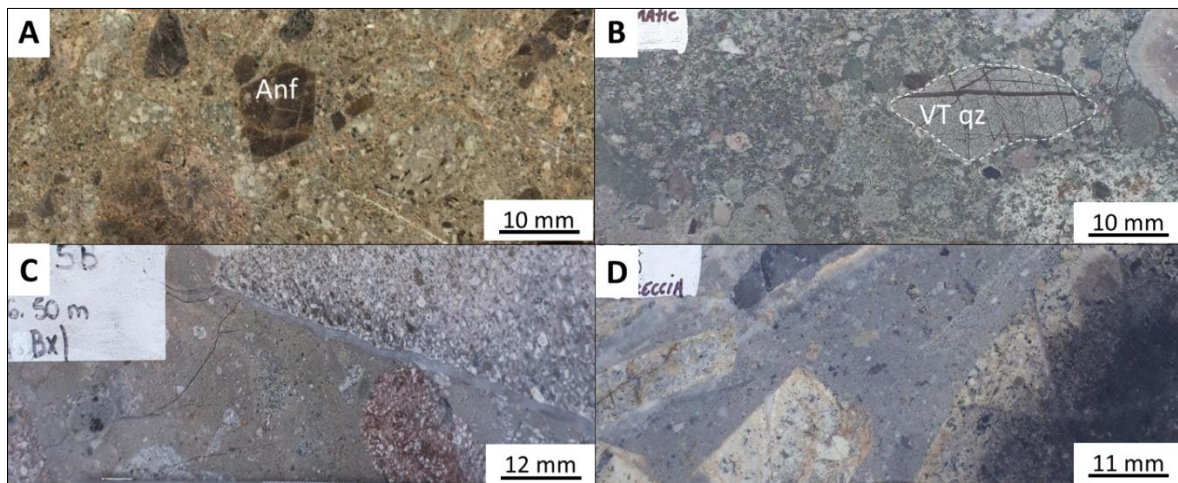


Figura 3.11: Texturas representativas de la brecha freática y freatomagmática. A) Brecha freatomagmática con matriz de harina de roca soportada con clastos de riolita (RVS) y andesita (BAVS). B) Vetillas de cuarzo truncadas dentro de brechas freatomagmáticas. C) Brecha freática de color gris oscuro, matriz de harina de roca con fragmentos angulares monomícticos, pobremente seleccionados con clastos de tamaño variable de 2 mm a varios centímetros. D) Brecha freática con clastos subangulosos de intrusivos precursores de mineralización de tamaños 5 a 50 mm sobre matriz de harina de roca. Abreviaciones: anf: anfíbol; qz: cuarzo; VT: vetilla.

3.3.3. Brecha Catalina (CBX)

Brecha hidrotermal con contenidos anómalos de Au, Cu y As. Representa el núcleo de la zona más productiva del depósito Cerro Casale. Se compone por fragmentos de brecha magmático hidrotermal que a su vez contienen fragmentos de pórfidos IMC1, IMC2, IMMZ y LMOT. Está cementada por un conjunto de minerales como sericita y cuarzo, y en menor cantidad turmalina, y sulfuros como calcopirita, pirita, calcosina y covelina. La abundancia de sulfuros primarios y secundarios, los múltiples episodios de brechización asociados, y la asociación mineral que la

caracteriza, puede ser signo de la compleja evolución del sistema porfídico hacia el ambiente epitermal.

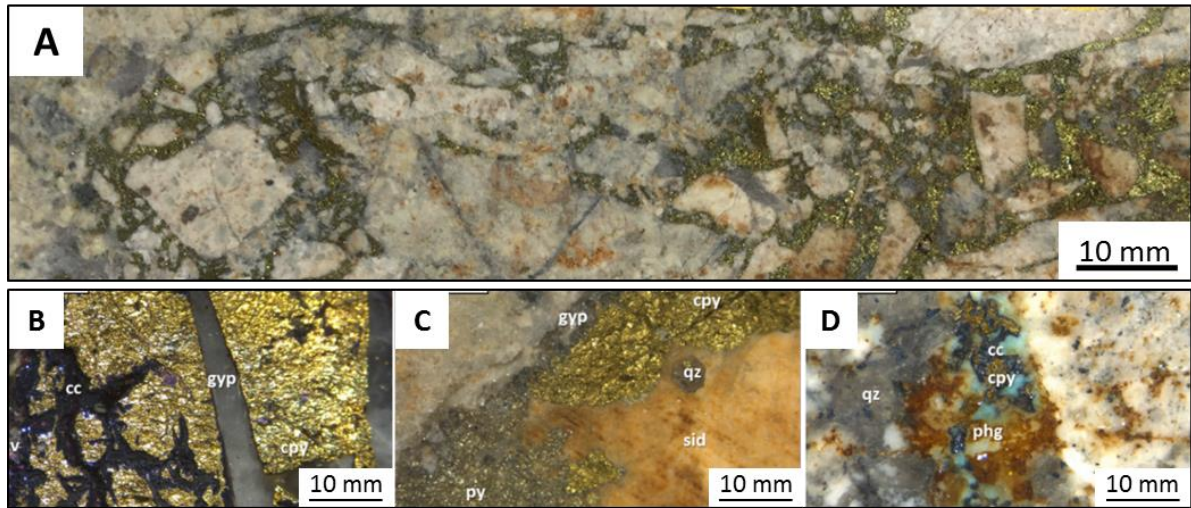


Figura 3.12: Características diagnósticas que definen a la Brecha Catalina. A) Brecha magmático hidrotermal, de textura brechosa, cemento soportada y abundante contenido de sulfuros en la matriz. B) Calcopirita masiva como componente de matriz de brecha magmático hidrotermal. C) Desarrollo de finas vetillas de yeso junto con siderita y sulfuros primarios. D) Desarrollo de enriquecimiento secundario. Abreviaciones: cc: calcosina; cpy: calcopirita; cv: covelina; gyp: yeso; py: pirita; phg: fengita; plg: plagioclasa; qz: cuarzo; sid: siderita.

4. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

4.1. Alteración Hidrotermal

El conjunto de alteraciones del pórfido Au – Cu Cerro Casale se asocia con el patrón clásico de alteración tipo pórfido propuesto por Sillitoe (2010). Posee un núcleo de alteración potásica superpuesto por la alteración sericita – clorita y el borde propilítico que conduce hacia el exterior del sistema (Figura 4.1). La parte superior de la zona potásica, tanto en brechas como en los intrusivos responsables de mineralización (IMC1, IMC2, IMMZ, LMOT), contiene una alteración fílica sobrepuesta. Hacia la parte superior y distal del sistema, junto a un fuerte control litológico dado por la secuencia volcánica dacítica y brechas freatomagmáticas, se desarrolla una alteración argílica intermedia de asociación illita ± clorita ± esmectita.

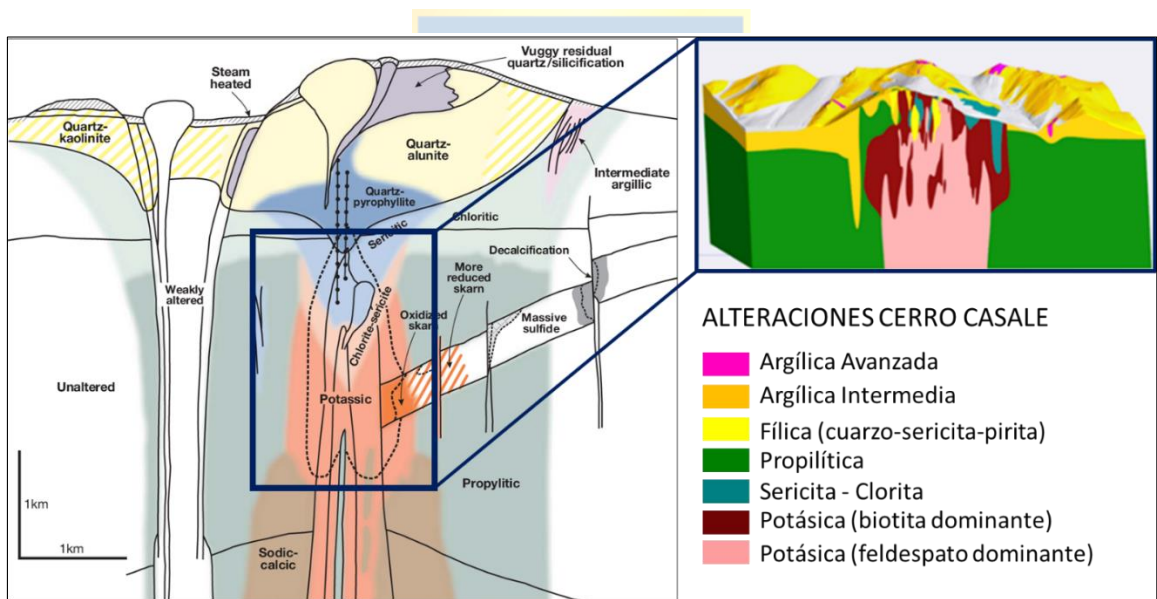


Figura 4.1: Modelo esquemático de alteración para Cerro Casale, correlacionado con el patrón de alteración para depósitos tipo pórfido propuesto por Sillitoe (2010). *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

En la zona periférica y poco profunda del depósito, existe cuarzo oqueroso o *vuggy silica* y halos de alteración argílica avanzada con cuarzo y alunita. La disposición de estas estructuras alteradas se plantea como un buen objetivo en la exploración de pórfidos. Los procesos supérgenos afectan a todas las unidades afloradas indistintamente, con diferentes grados de intensidad, transformando la plagioclasa en caolinita y varias especies de arcillas.

4.1.1. Alteración Potásica

Alteración definida por feldespato potásico, biotita, cuarzo y magnetita, mientras que hay sulfuros presentes (calcopirita \pm bornita y pirita), pero no necesariamente asociados. Es el centro del patrón de alteración, y coincide con altas concentraciones de Au y Cu. Esta zona se divide en dos subconjuntos; uno con dominancia de feldespato potásico sobre biotita y el otro, lo opuesto. El primero se enfoca en el centro del depósito, mientras que el segundo, como un halo que lo bordea, alterando principalmente rocas de caja. Ambas zonas contienen > 3% de volumen en magnetita, pero existe aún mayor cantidad en la asociación biotita > feldespato potásico.

4.1.1.1. Dominio de Biotita

Esta alteración afecta principalmente a las unidades epiclástica (ES) y volcánica basáltico andesítica (BAVS), con un reemplazo pervasivo de biotita hidrotermal. No se presenta en vetillas tempranas de cuarzo. De manera selectiva afecta la masa fundamental del pórfido diorítico IMC2. Se observa un control estructural WNW, dado por las fallas Michaela, Nichola y Ámbar (Figura 4.2), de azimuth 115° a 120° aproximadamente. Se asocia con magnetita alterando selectivamente las distintas rocas que afloran en superficie. Por lo general, la magnetita se encuentra martitizada a causa de la oxidación hipógena.

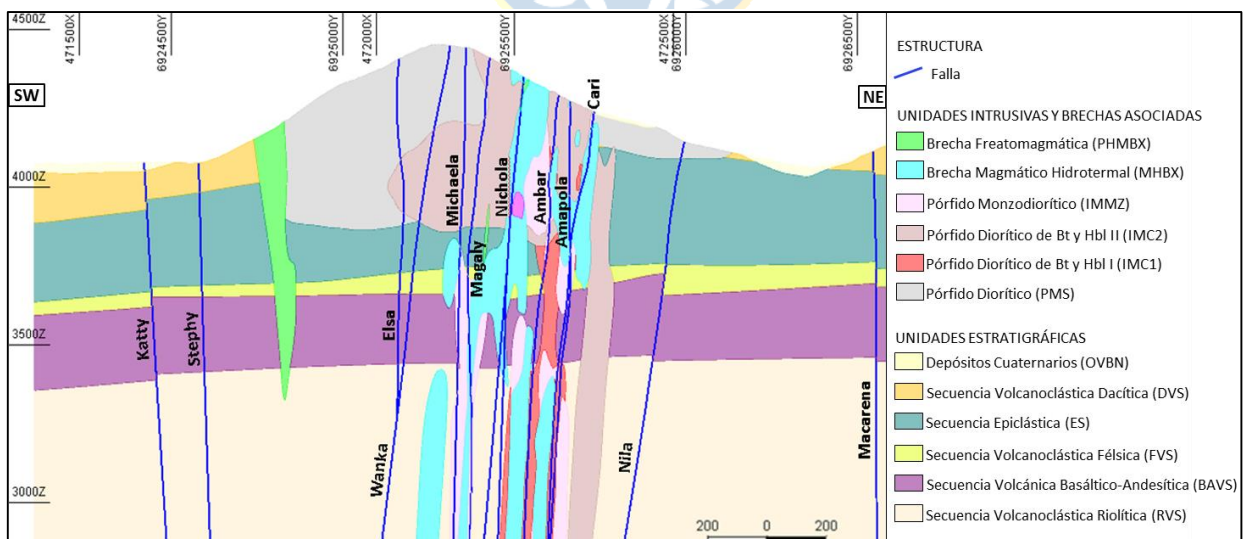


Figura 4.2: Modelo estructural y litológico para el depósito Cerro Casale. Se presentan los controles principales. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

A escala microscópica se evidencia el desarrollo de una alteración propilítica hacia los márgenes del dominio potásico biotítico, lo que podría indicar una contemporaneidad de ambos eventos (Sillitoe, 2010). Por otra parte, se ha interpretado una superposición de alteración argílica intermedia en el margen NE de este sistema por un probable descenso del pH y la temperatura (Figura 4.3) (Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020).

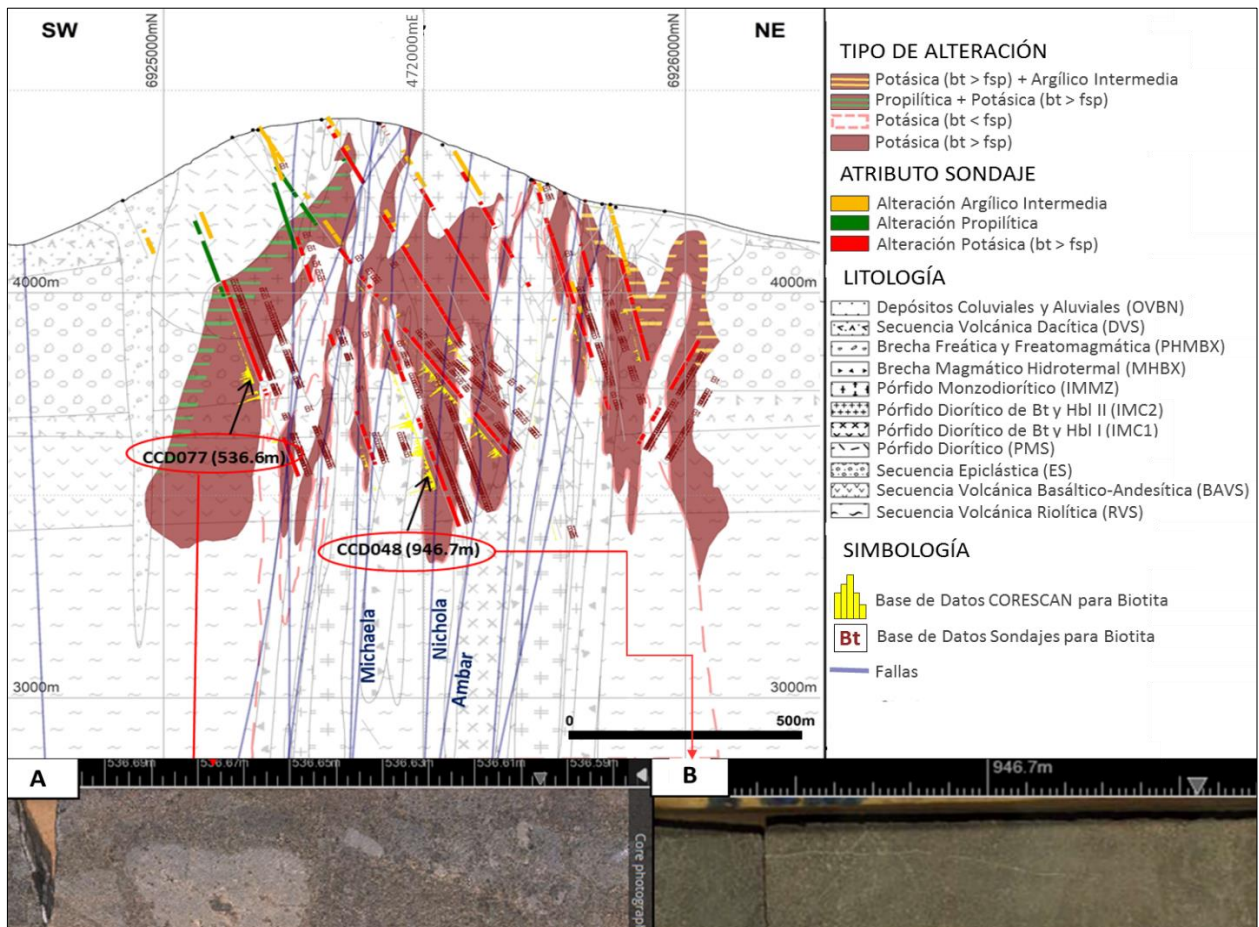


Figura 4.3: Interpretación de alteración potásica con biotita > feldespato potásico, en base a descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN, Proyecto Casale. A) Unidad epiclástica (ES) con alteración potásica (bt > fsp) pervasiva sobre la matriz y en clastos previamente silicificados. B) Andesita (BAVS) con alteración potásica (bt > fsp) pervasiva. Abreviaciones: bt: biotita; fsp: feldespato potásico. Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.

4.1.1.2. Dominio de Feldespato Potásico

Asociación mineral potásica con contenido subordinado de biotita respecto al de feldespato potásico. De desarrollo masivo sobre los distintos pórfidos, brechas asociadas y la secuencia volcanoclástica riolítica (RVS) (Figura 4.4). Generalmente se observa un intercrecimiento granular

fino de feldespato potásico y cuarzo, junto con la sobreimposición de las alteraciones posteriores. Posee un control estructural WNW equivalente al dominio de biotita, vinculado a las fallas Amapola y Nichola (Figura 4.2). Presenta contenidos menores de calcopirita y pirita, y muy bajos de bornita. La relación pirita/calcopirita disminuye gradualmente a medida que incrementa la profundidad, mientras que aumenta hacia los márgenes delimitados por esta alteración.

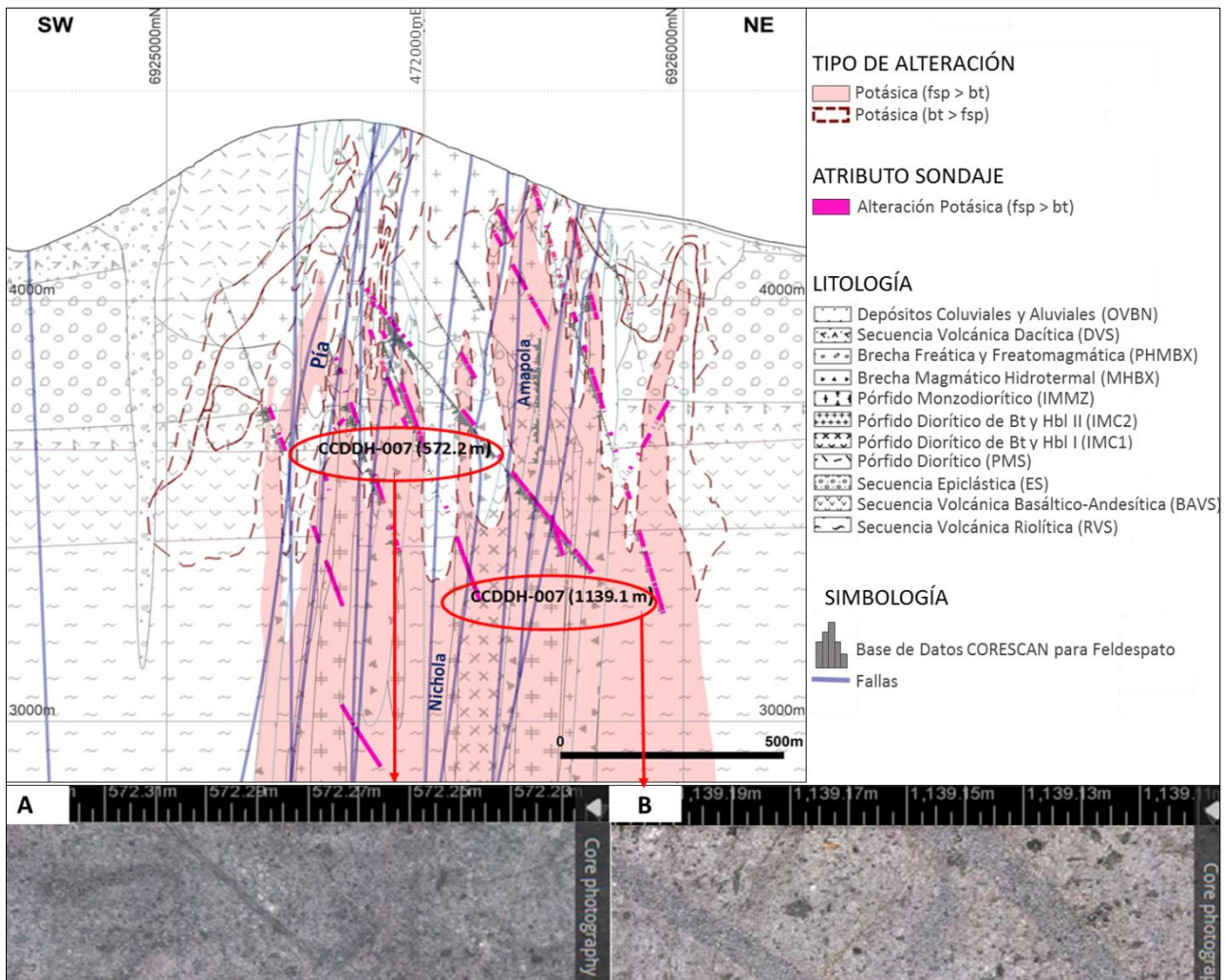


Figura 4.4: Interpretación de alteración potásica con feldespato potásico > biotita, en base a descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN. A) Brecha magmático hidrotermal (MHBX) con alteración potásica (fsp > bt) moderada. B) Pórfido monzodiorítico (IMMZ) con alteración potásica pervasiva. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

4.1.2. Alteración Propilítica

Representada por la asociación clorita > epidota + calcita ± pirita, como un halo que bordea la alteración potásica hacia los márgenes del sistema porfídico, afectando rocas volcánicas,

sedimentarias y el pórfido diorítico premineral (PMS). Se caracteriza por la transformación de minerales máficos a clorita y en menor medida magnetita, mientras que las plagioclasas se alteran parcialmente a epidota. Desde la zona proximal de la alteración, se observa una sobreimpresión moderada de esta sobre la zona potásica, aunque se asume que ambos episodios son contemporáneos (Sillitoe, 2010). El contenido en epidota varía hasta 2 %, mientras que el de pirita es $< 2 \%$ del volumen del halo propilítico. Estudios semicuantitativos mediante Corescan, evidencian una presencia considerable de epidota hacia el sector SW del depósito en la zona subsuperficial donde se encuentra la unidad PMS (Figura 4.5). A simple vista, esta alteración no se define con claridad, pero análisis mineralógicos semicuantitativos permitieron su correcta caracterización.

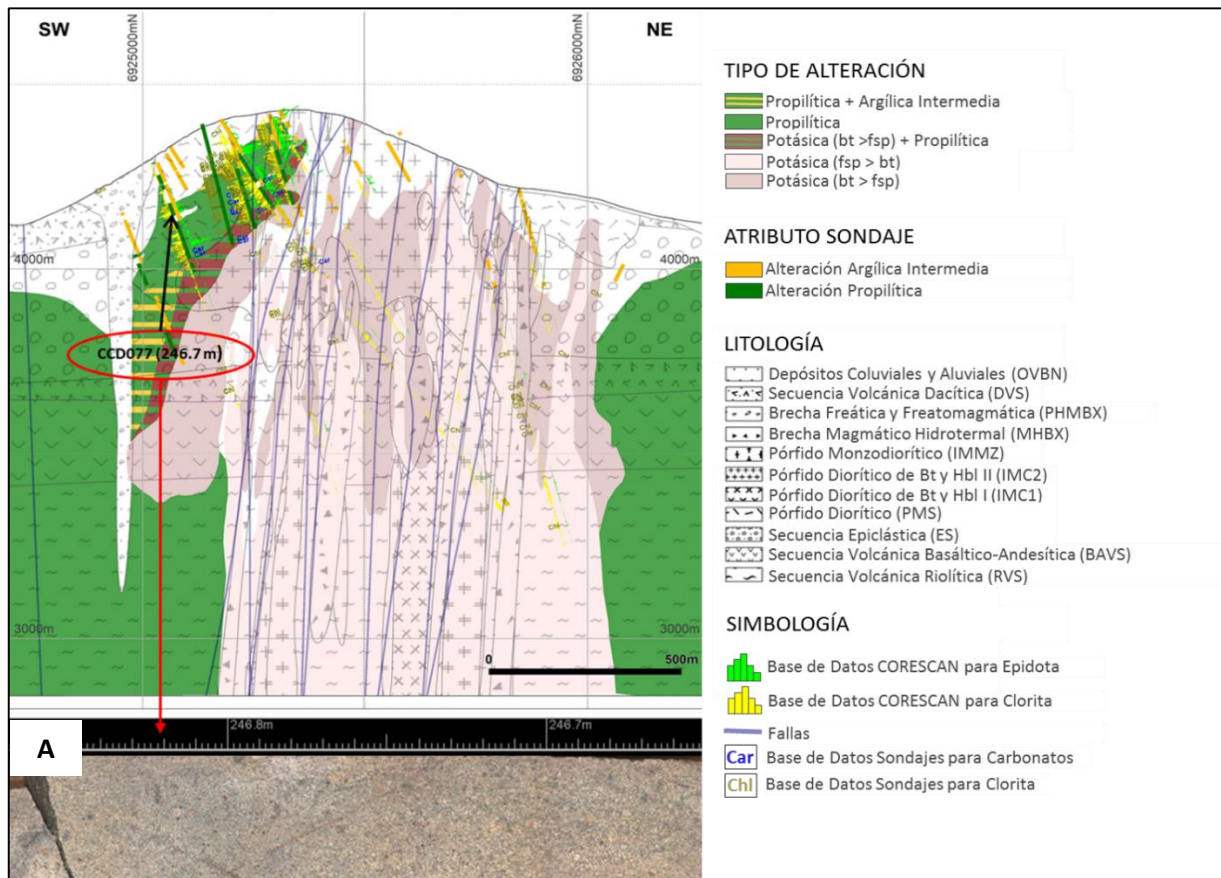


Figura 4.5: Interpretación de alteración propilítica en profundidad, en base a descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN. A) Muestra del pórfido diorítico PMS con alteración propilítica, y epidotización de fenocristales de anfíbol. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

4.1.3. Alteración Argílica Intermedia

Es clasificada según distintas asociaciones; illita – smectita, Illita – clorita e Illita – smectita – clorita. Se desarrolla hacia la superficie y los bordes del sistema (Figura 4.6), tanto en brechas freáticas como freatomagmáticas, y en la secuencia volcánica dacítica (DVS). Sus modos de ocurrencia son selectivos y masivos, con importante contenido de relictos de magnetita martitzada y diseminados de óxidos de manganeso.

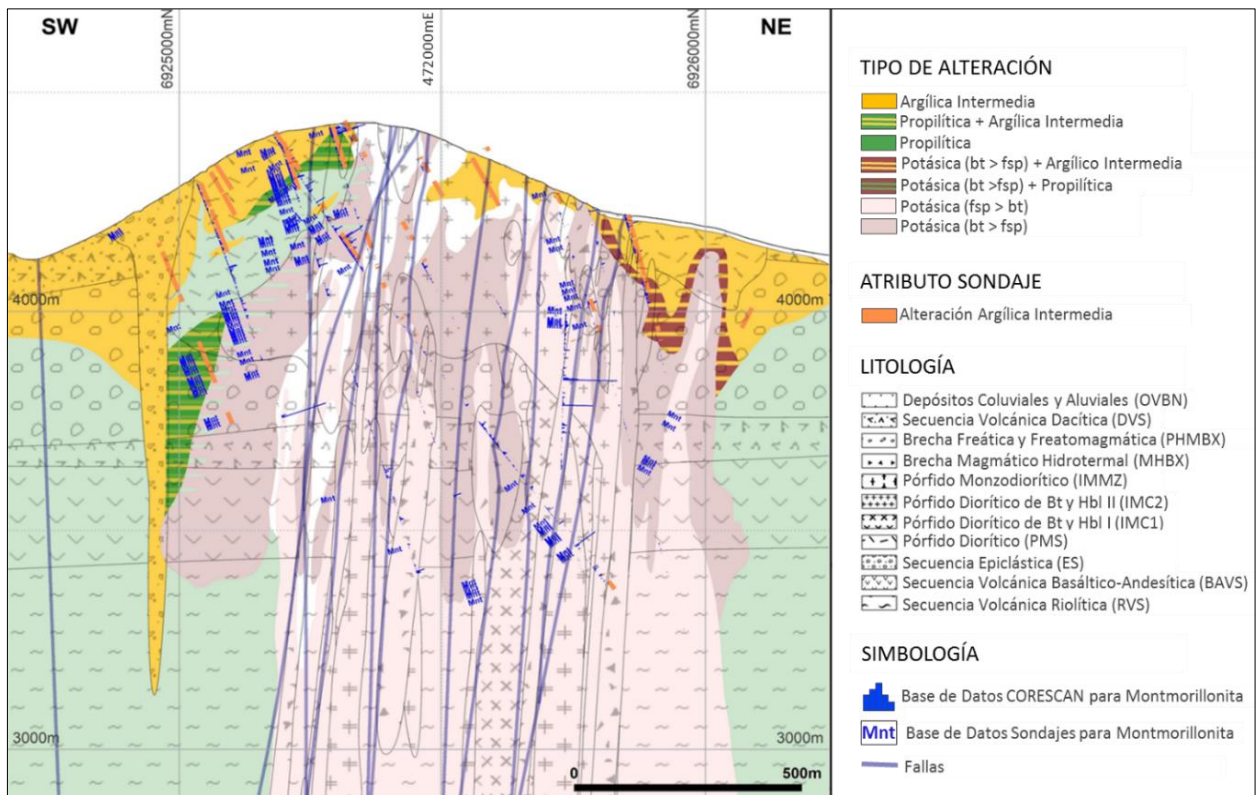
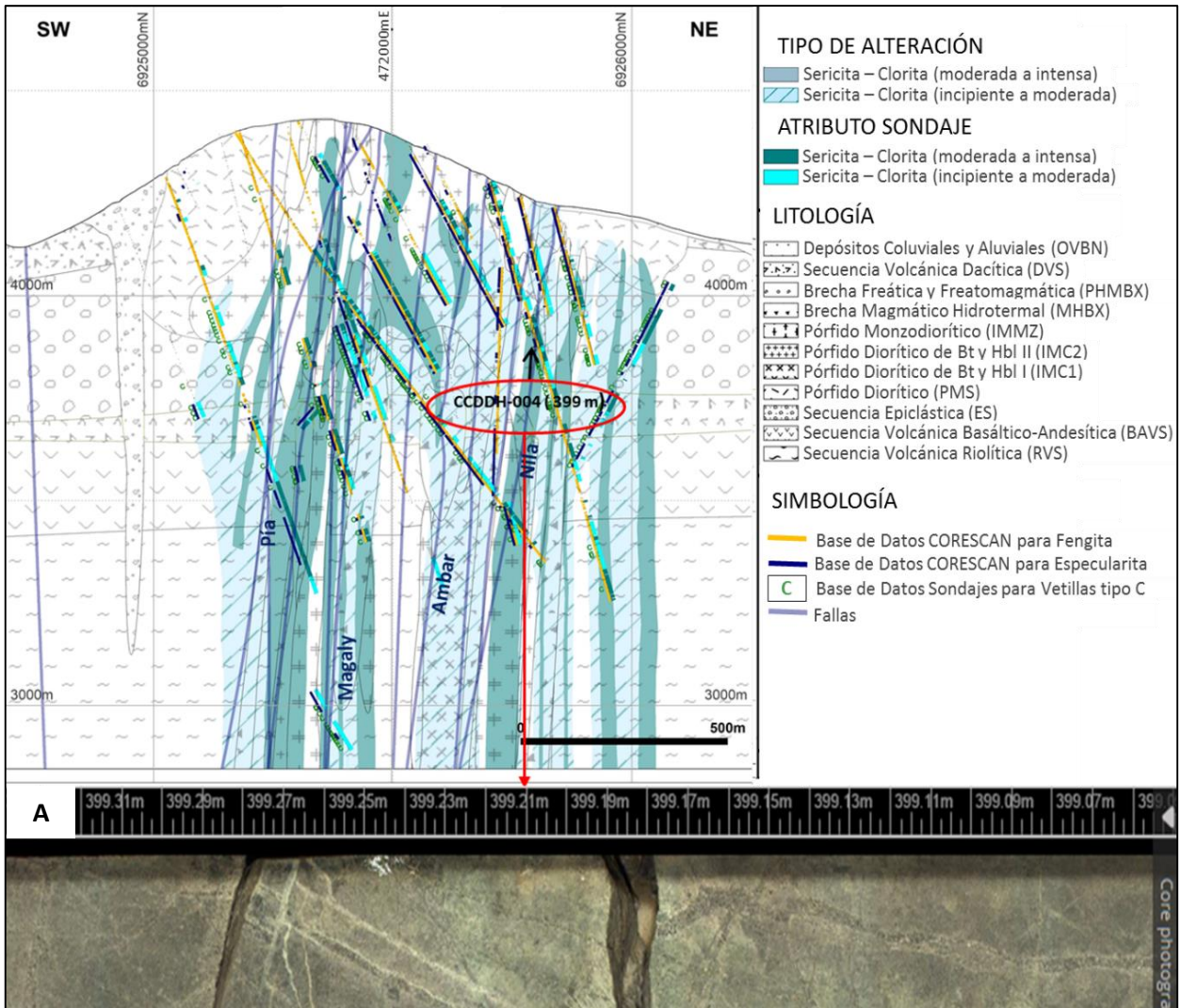


Figura 4.6: Interpretación de alteración argílica Intermedia en profundidad, según descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

4.1.4. Alteración Sericita – Clorita – (Especlarita)

Definida por la asociación mica blanca de composición fengítica, especlarita diseminada y en vetillas, y clorita de ocurrencia selectiva en halos de vetillas tipo C (Figura 4.7A). En superficie la presencia de clorita no es diagnóstico para esta alteración, ya que debe incluir presencia de óxidos de cobre, limonitas y vetillas tipo C. Los minerales máficos son alterados a clorita y las plagioclasas a illita y/o sericita. Esta alteración posee un control estructural WNW, dado por las fallas Ámbar,

Nichola y Magaly (Figura 4.2) que también controlan la disposición del núcleo potásico. Además, se sobrepone a este núcleo incrementando las concentraciones de Au y Cu y, por ende, otorgando el mayor contenido promedio al depósito. Su intensidad aumenta al encontrarse sobre brechas magmático hidrotermales, cuerpos intrusivos (IMC1, IMC2, IMMZ, LMOT) y la unidad epiclástica (ES). La extensión de esta alteración es clásica de un depósito tipo pórfido rico en Au (Sillitoe, 2010).



4.1.5. Alteración Fílica

Se desarrolla en la parte superior de la zona potásica, afectando a las brechas magmático hidrotermales, la Brecha Catalina y las unidades intrusivas en general. La *suite* mineral que define esta alteración contiene cuarzo + mica blanca (muscovita) \pm pirita \pm turmalina. Se observa en vetillas tipo D con suturas de sulfuros (principalmente pirita) y en halos de sericita (Figura 4.8A).

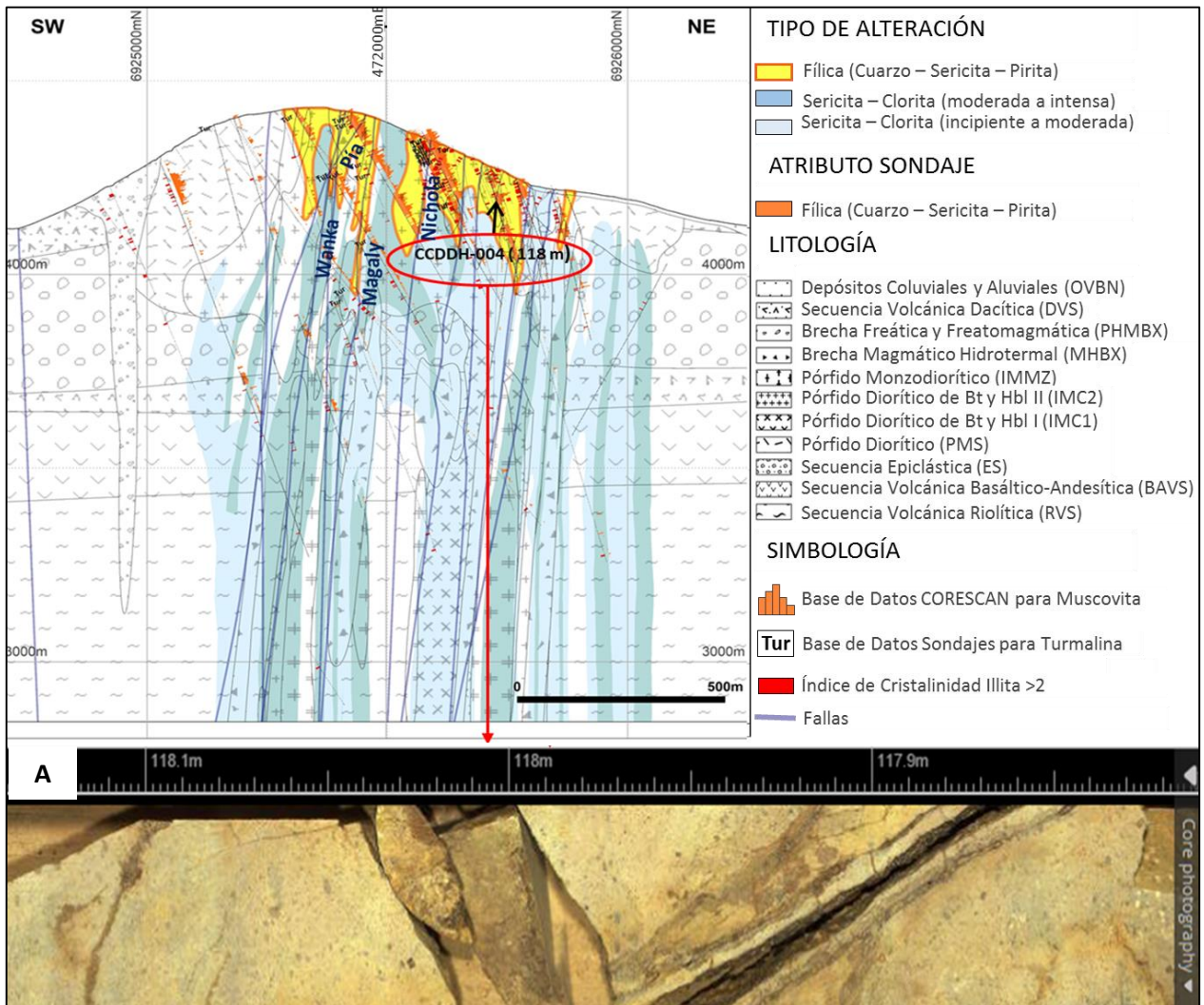


Figura 4.8: Interpretación de alteración fílica en profundidad, según descripción de sondajes y estudios por espectrometría mediante CORESCAN. A) Vetillas tipo D con alteración cuarzo – sericita – pirita. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

Su desarrollo implica condiciones de pH ácido y altas temperaturas, sin embargo, para el caso de la Brecha Catalina, implicaría un pH más alcalino y/o neutro debido a la presencia de rodocrosita

y siderita, lo cual resulta en interés de estudio para comprender el contexto de mineralización involucrado en este caso (Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020). A superficie se observa un contenido moderado a intenso de cuarzo y caolinita, moderada a débil cantidad de sericita, alunita supérgena junto a jarosita y goethita, y escaso o nulo contenido en pirita producto de su oxidación.

4.1.6. Alteración Argílica Avanzada

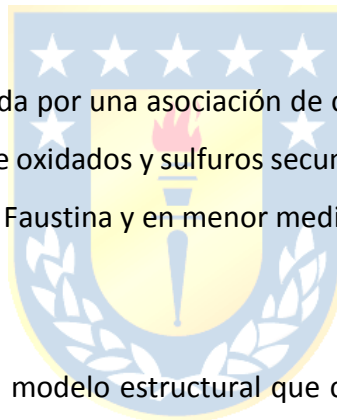
Se ha detectado la presencia de alunita, jarosita y cuarzo opalino, además de texturas débiles de *vuggy silica* en zonas de debilidad de rocas preexistentes. Esta alteración se dispone de manera radial desde el núcleo del sistema porfídico, lo que es considerado un buen criterio de exploración para el resto del distrito.

4.1.7. Procesos Supérgenos

La evidencia de esta alteración se da por una asociación de caolinita en zonas donde el cobre se encuentra enriquecido en forma de oxidados y sulfuros secundarios. Se dispone según un control estructural NW vinculado a la falla Faustina y en menor medida a la falla Pía.

4.2. Controles Estructurales

El depósito Cerro Casale posee un modelo estructural que consiste en 29 fallas reconocidas en campañas de terreno y descripción de sondajes. Se definen cuatro contextos o dominios para estas fallas; el dominio central SW, el central NE y los dominios SE y NW, los cuales difieren según orientaciones predominantes de falla y estilos composicionales de las estructuras involucradas que, a su vez, son limitados por las fallas Nila, Amanda y Elsa (Figura 4.9).



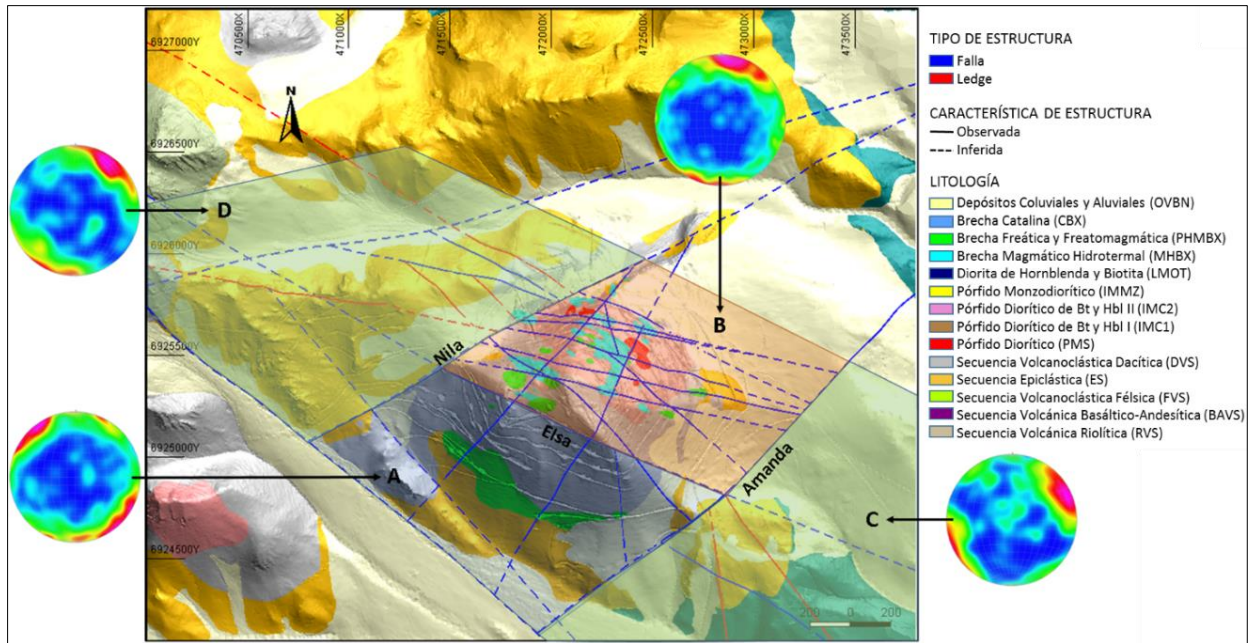


Figura 4.9: Modelo estructural de superficie para Cerro Casale junto con la litología interpretada. Dominios estructurales; A: sudoeste central; B: noreste central; C: sudeste y D: noroeste, definidos por las fallas Nila, Amanda y Elsa. Los dominios son representados con estereogramas de densidad de Schmidt equiareales. Cantidad de puntos medidos en superficie por dominio; A: 434; B: 738; C: 350 y D: 355. *Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020.*

4.2.1. Dominio Central SW

Localizado entre las fallas Nila y Amanda, y al SW de la falla Elsa. Compuesto por un sistema de fallas de rumbo N 40 - 50°, como lo son las fallas Pía y Sila asociadas a la mineralización argílica intermedia y supérgena con jarosita y hematita/goethita. La falla Pía es la más característica del dominio SW (Figura 4.10A), controla la disposición de la alteración sericita – clorita y posee continuidad dentro del depósito extendiéndose hasta el dominio NE (Figura 4.10B). A su vez, controlaría la geometría de brechas magmático hidrotermales y el emplazamiento de vetillas tipo A y cuarzo bandeadas en su mismo plano de dirección.

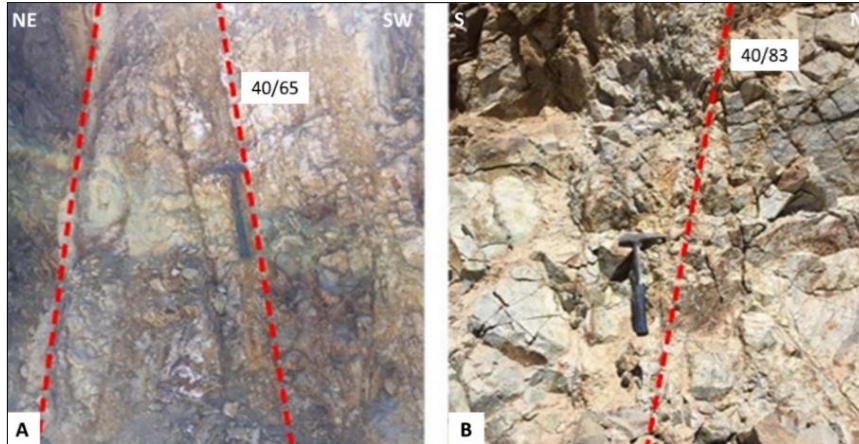


Figura 4.10: Falla Pía observada en superficie. A) Observación en dominio SW. B) Observación en dominio NE.

4.2.2. Dominio Central NE

Localizado entre las fallas Nila, Amanda y Elsa, siendo el dominio más relevante por estar asociado a la mayor mineralización del depósito. Se caracteriza por un set de fallas dominante N 95 - 120° controlado por la falla Ámbar y un sistema subordinado de fallas N 140 - 150°. Este dominio estructural coincide con la elongación de pórfidos interminerales y brechas, cuyas estructuras se encuentran localmente brechizadas y en ocasiones con cemento hidrotermal (Figura 4.11). Su relleno principalmente se compone de arcillas, yeso y caolinita, mientras que rellenos de cuarzo y sericita con mineralización de jarosita y óxidos, se observan hacia el centro del sistema porfídico.

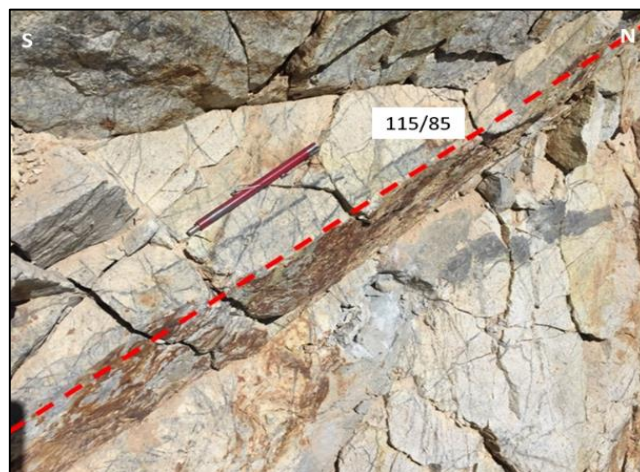


Figura 4.11: Falla Ambar en el dominio NE de Cerro Casale. Se observa una vetilla tipo A emplazada en el mismo plano de dirección.

4.2.3. Dominio SE

Se encuentra al SE de la falla Amanda y se caracteriza por múltiples estructuras N 140 - 150° y algunas estructuras sub paralelas que se hayan silicificadas, con cuarzo oqueroso en algunos casos, y con halos de alteración argílica avanzada.

4.2.4. Dominio NW

Ubicado al NW de la falla Nila. Se representa por fallas de rumbo N 120 - 150° y desarrollo de estructuras tipo *ledges* y silicificaciones con cuarzo oqueroso junto a halos argílico avanzados.

4.3. Tipos de Vetillas

Cerro Casale hospeda variados tipos de vetillas tanto mineralizadas como no (Figura 4.12), que han sido identificadas mediante mapeo de detalle en superficie y en sondajes bajo el contexto de ambiente porfídico, transicional y, finalmente, epitermal hacia zonas más someras. Este sistema de vetillas se basa en los criterios planteados por Gustafson & Hunt (1975), Dilles & Einaudi (1992), Gustafson & Quiroga (1995), Sillitoe (2000; 2010) y Skewes & Atkinson (2010), como también por clasificaciones locales efectuadas por Vila & Sillitoe (1991) y Muntean & Einaudi (2001) para pórfidos enriquecidos en oro y sistemas epitermales a lo largo de la Franja de Maricunga. A continuación, se describen las características principales de cada una de ellas según temporalidad.

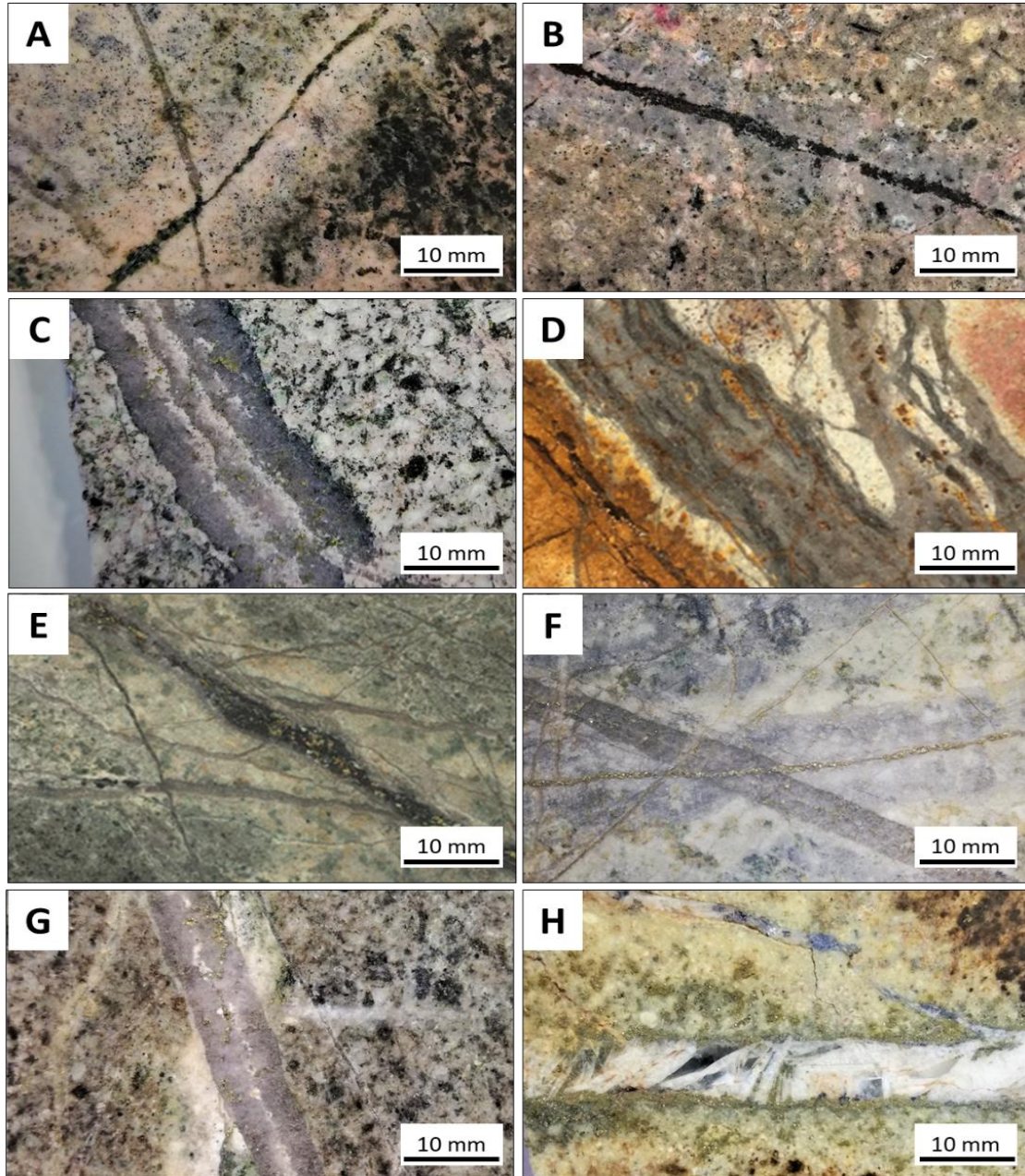


Figura 4.12: Muestras de testigos de sondajes para la caracterización de vetillas de Cerro Casale. A) Vetillas tipo EB con biotita y menor cantidad de magnetita. Posee halo feldespático; B) Vetilla tipo M compuesta por magnetita y halo feldespático; C) Vetilla tipo A con cuarzo, 2 bandas de feldspato y calcopirita; D) Vetilla de cuarzo bandeado; E) Vetilla tipo C con especularita, calcopirita y halo clorita sericita; F) Vetilla tipo D que corta y se superpone a evento A; G) Vetilla tipo D que ocurre como reemplazo de vetilla tipo A hacia el centro, posee un halo parcial de sericita producto del cuarzo presente en la vetilla tipo A; H) Vetilla tipo E de carácter polimetálico, con barita, esfalerita y galena.

4.3.1. Vetilla tipo EB

Sinuosas, irregulares, discontinuas y de espesor 0,3 – 1,5 mm (Figura 4.12A). Se relacionan directamente con los pórfidos ligados al ambiente tardimagmático y con aquellos precursores de mineralización. Responden a altas temperaturas de formación, pueden observarse en las partes altas de la alteración potásica, y se encuentran rellenas por biotita, cuarzo, magnetita, calcopirita, piritita, hematita y magnetita. Pueden o no presentar halo de feldespato potásico.

4.3.2. Vetilla tipo M

Sinuosas, irregulares, discontinuas y de espesor 0,5 – 4 mm (Figura 4.12B). Se relacionan con los pórfidos IMC1, IMC2, IMMZ y LMOT de la misma forma que las vetillas EB, y se restringen a la alteración potásica. Para casos de sobreimposición del evento sericita – clorita sobre la zona potásica, se observa oxidación en la vetilla. Rellenas por magnetita, cuarzo, biotita, \pm anhidrita, calcopirita, piritita y hematita. Normalmente presenta halo de cuarzo o feldespato potásico.

4.3.3. Vetilla tipo A

Rectilíneas, regulares y discontinuas a continuas, y de espesor 0,2 - 100 mm (Figura 4.12C). Responden al evento hidrotermal más importante y se encuentran distribuidas en la mayor parte del depósito. Se disponen como enjambres de vetillas planares que cortan a las vetillas EB y M. Están asociadas a sulfuros con altas concentraciones de Au y Cu. Según mineralogía se subdividen en tipo A1; rellenas por cuarzo, anhidrita, biotita, hematita, magnetita, calcopirita y bornita con o sin halo de feldespato; y tipo A2, rellenas por cuarzo, feldespato potásico, albita, anhidrita, hematita, magnetita, calcopirita y bornita, con halo de feldespato potásico o albita.

4.3.4. Vetillas tipo Cuarzo Bandeado

Sinuosas, irregulares, continuas y de espesor 0,5 - 25 mm (Figura 4.12D). Corresponden al segundo evento más abundante de vetillas en Cerro Casale. Normalmente se observan en las zonas más altas del depósito. Ocurren como enjambres de vetillas planares con intercalaciones de bandas gris oscuro a gris claro dado por cristales anhedrales a subhedrales de cuarzo recristalizado \pm anhidrita. Se observan en los cuerpos intrusivos IMC1, IMC2, MHBX, PMS. Están rellenas por cuarzo \pm anhidrita. No poseen halo de alteración.

4.3.5. Vetillas tipo B

Rectilíneas, irregulares y continuas, de espesores 3 – 50 mm. El cuarzo presenta una textura masiva, y no posee halo de alteración. Está rellena por cuarzo, molibdenita ± calcopirita.

4.3.6. Vetillas tipo C

Sinuosas a rectas, regulares y continuas, de espesor 1 – 30 mm (Figura 4.12E). Contienen abundantes sulfuros según la zona mineral en que se emplacen (ej.: En partes marginales del sistema hidrotermal asociado a la alteración propilítica se observa incremento de pirita, mientras que hacia el núcleo del sistema hay un incremento de calcopirita). Según mineralogía se subdividen en; tipo C1, con cuarzo, calcopirita y pirita; tipo C2, con hematita, muscovita, calcopirita, pirita ± covelina ± digenita; y tipo C3 con cuarzo, calcita, clorita, hematita, pirita ± calcopirita ± molibdenita. En ocasiones presentan halo sericítico o clorítico.

4.3.7. Vetillas tipo D

Rectas, irregulares y continuas, de espesor 0,5 – 10 mm. Están asociadas al evento más tardío del sistema hidrotermal de Cerro Casale. Cortan y desplazan a las vetillas más tempranas (Figura 4.12F). Es común que reutilicen vetillas tipo A (Figura 4.12G), y que a su vez sean reutilizadas posteriormente por yeso. Probablemente se relacionan con el evento de alteración fílica. Están rellenas de cuarzo, calcita, anhidrita y pirita. Se envuelven por un halo sericítico ± cuarzo y pirita.

4.3.8. Vetillas tipo E

Rectas, regulares y continuas, de espesor 10 – 100 mm (Figura 4.12H). Descritas como vetillas de composición polimetálica pertenecientes a la etapa hidrotermal tardía. De acuerdo a las características de estas vetillas, se puede interpretar como expresión del ambiente hidrotermal de baja a mediana sulfuración. Están rellenas por barita, calcita, ankerita, esfalerita, yeso, pirita y galena. Sin halo de alteración.

4.4. Mineralización

Cerro Casale contiene un gran cuerpo mineralizado con una superficie de ~ 500 m de radio y una profundidad estimada de ~ 1.000 m. La mineralización de Au – Cu se relaciona principalmente

con la zona de alteración potásica, en menor proporción con el evento posterior de alteración sericita - clorita, y prácticamente nulo vínculo ante la alteración fílica. Respecto al Au, debido a que se haya en solución sólida junto a sulfuros de Cu y Fe, y como pequeños granos de Au libre, su contenido estaría limitado por la cantidad que los sulfuros son capaces de alojar durante su precipitación temprana, por ende, gran parte estaría asociado al ensamblaje calcopirita – bornita (Kesler *et al.*, 2002). La mayor parte del Au y Cu en Cerro Casale acompaña los cuerpos intrusivos inteminerales y a las brechas magmático hidrotermales asociadas, sobre todo bajo el dominio de alteración potásica con sobreimposición del evento sericita – clorita. Bajo el contexto de alteración potásica, el dominio de feldespato potásico contiene aún mayor mineralización de Au y Cu que el dominio biotítico, pero esto no implica menor importancia de esta última. Cuando ocurre la sobreimposición del evento sericita – clorita, hay un aumento en la concentración de Cu a causa de la precipitación de calcopirita. Una característica relevante en Cerro Casale es el desarrollo de *stockwork* de vetillas de cuarzo con minerales de Cu y Fe diseminados y rellenando espacios abiertos, presentándose en la mayoría de las unidades de roca, otorgando altas concentraciones de Au y Cu, sobre todo en enjambres de vetillas tipo A y B. Cabe destacar que la brecha Catalina es la unidad de mayor ley en todo el depósito, con *stockwork* de vetillas con un volumen ~ 0,6 % Cu y ley promedio de 1,8 g/t de Au. El Au se presenta principalmente como partículas finas y libres asociadas u ocluidas en calcopirita (Figura 4.13A-B), pirita (Figura 4.13C), bornita (Figura 4.13D), óxidos de Fe como magnetita y hematita, y en algunos silicatos. Es esperable que una cantidad menor ocurra como Au invisible (nanoparticulados) en sulfuros y óxidos de Fe. En cuanto al Cu, la mayor concentración proviene de calcopirita, en menor cantidad de bornita y en sulfuros secundarios, cuya ocurrencia es diseminada en las distintas unidades, en *stockwork* de vetillas, y como impregnaciones en fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos. Respecto a la correlación de Au y Cu, incrementa hacia las zonas profundas del depósito (Figura 4.14) mientras que, a niveles más someros no hay relación de ambos componentes. El contenido en metales preciosos como Ag es subordinado y se calcula desde el análisis modal de productos captados por flotación, con una proporción promedio de 1:4 respecto al Au dada por electrum en solución sólida u ocluido en granos finos de minerales de Cu.

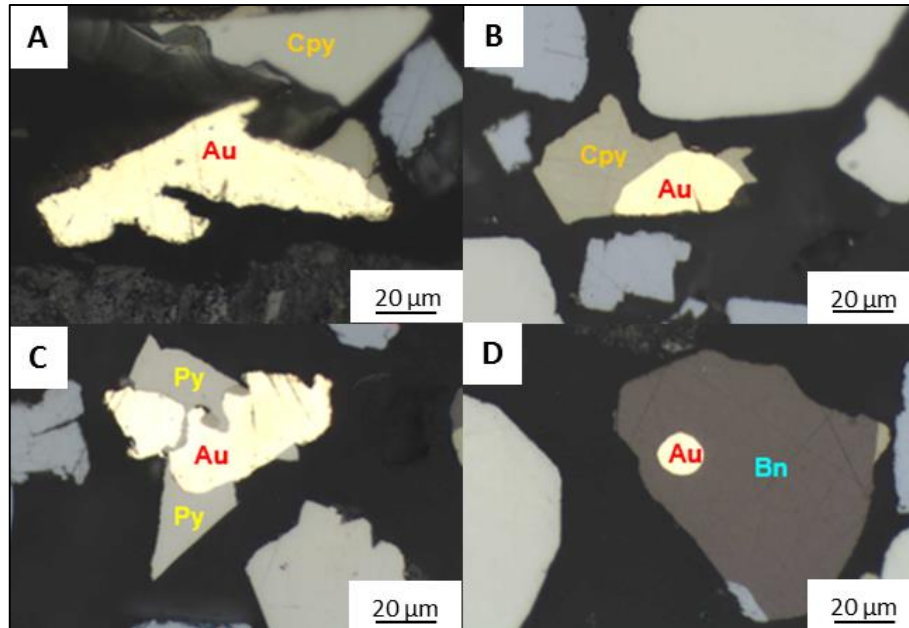


Figura 4.13: Microfotografías representativas para la distribución de Au en Cerro Casale. A) Grano de Au libre asociado con calcopirita en el borde. B) Grano de Au junto con calcopirita. C) Grano de Au junto con pirita. D) Grano de Au intercrecido con bornita.

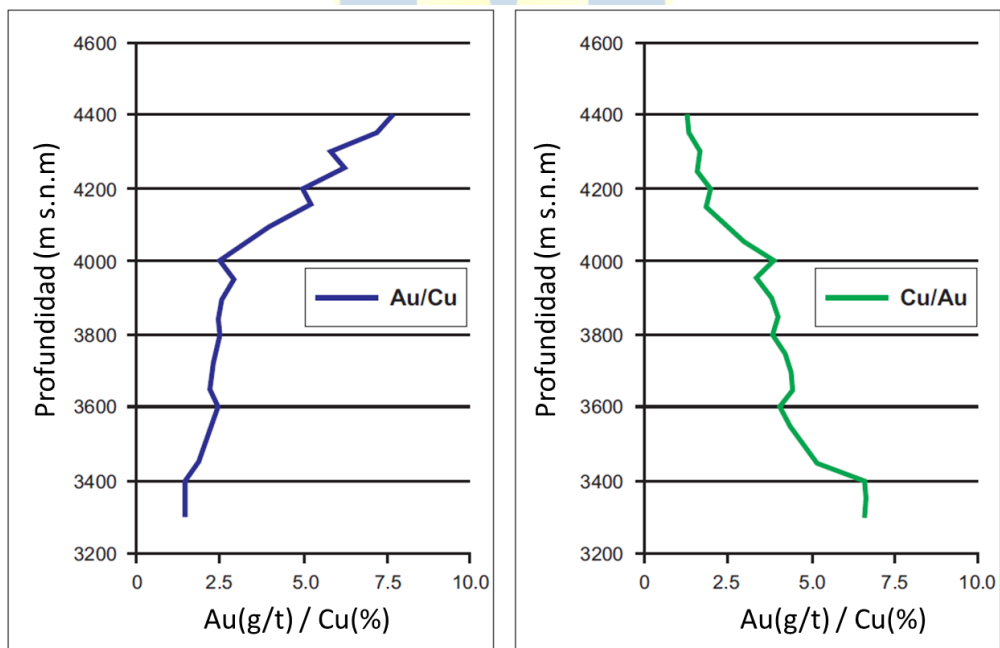


Figura 4.14: Relaciones promedio de Au/Cu y Cu/Au según profundidad para el Proyecto Cerro Casale. *Informe Técnico NI 43-101 - Barrick Gold Corporation, 2011.*

5. MÉTODOS ANALÍTICOS

5.1. Selección de Muestras y Caracterización Petrocalcográfica

Para caracterizar la mineralogía de mena y ganga en el depósito tipo pórfido Au-Cu Cerro Casale, y así constreñir el desarrollo de los distintos sulfuros presentes bajo determinadas condiciones de mineralización, se efectuó un estudio mineralógico de detalle en 20 secciones pulido – transparentes de rocas obtenidas desde sondaje diamantino, integrando a distinta escala técnicas de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM). Se consideró un muestreo homogéneo y representativo para los distintos tipos de alteración y vetillas sobre las diferentes unidades de rocas volcánicas, intrusivas y brechas asociadas, para lo cual se levantó un modelo esquemático en 2D mediante *software* Micromine (Figura 5.1) a partir del registro histórico de la descripción de sondajes para la mineralización hipógena y supérgena de los distintos tipos de sulfuros.

El estudio petrocalcográfico fue dirigido en pos de identificar las distintas generaciones de sulfuros presentes (pirita, calcopirita, bornita, covelina, calcosina, molibdenita, esfalerita y galena), patrones texturales y asociaciones minerales de mena y ganga, y así establecer una secuencia paragenética para el depósito. Este se llevó a cabo en el laboratorio de microscopía óptica del instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción, a través del microscopio binocular Nikon OPTIPHOT2–POL de luz transmitida y reflejada, equipado de cuatro objetivos M PLAN DIC, y magnificaciones de 5x, 10x, 20x y 40x.

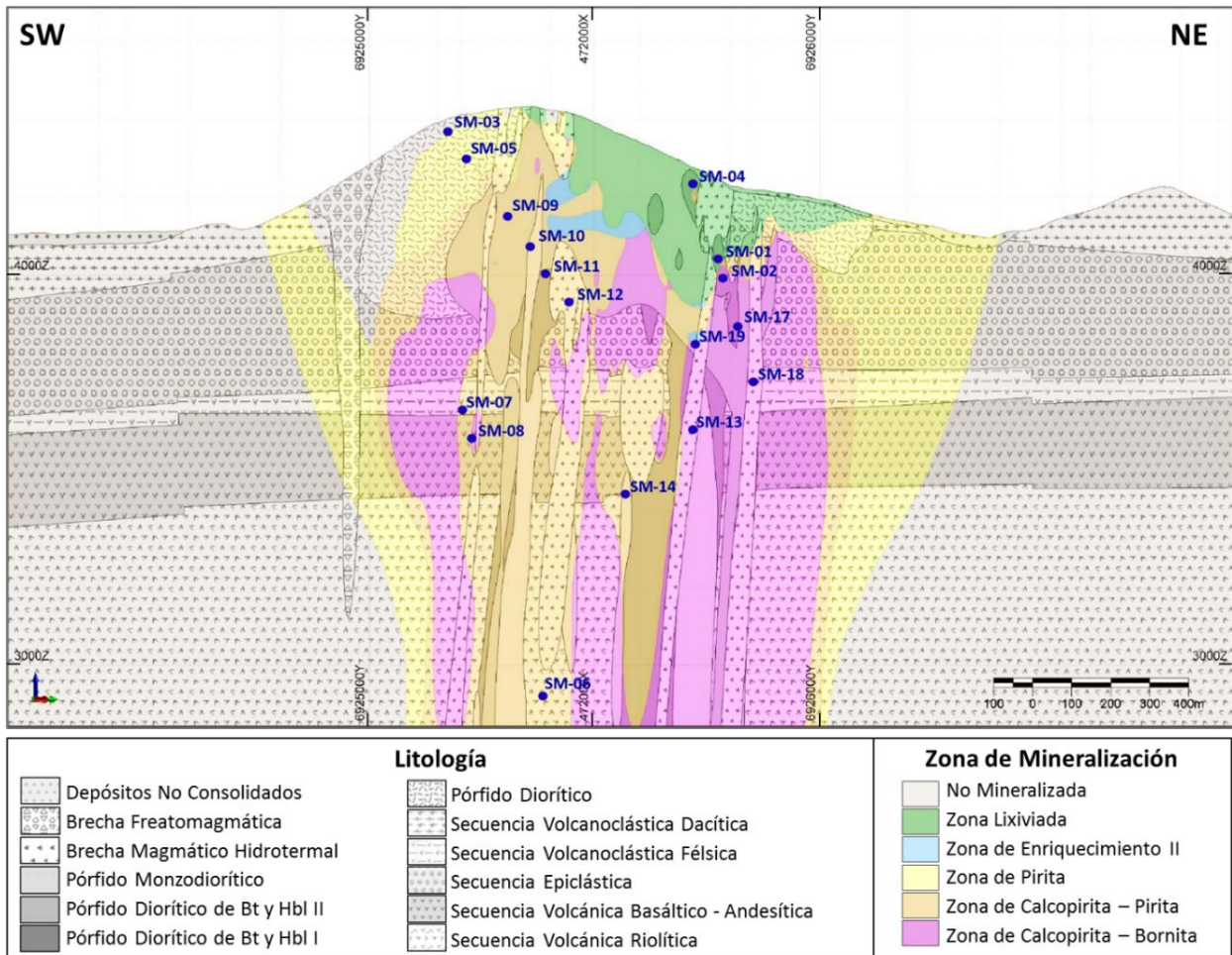


Figura 5.1: Distribución en profundidad de las distintas muestras de roca provenientes de sondaje diamantino con respecto a las principales zonas de mineralización del pórfido Cerro Casale.

5.2. Análisis Químico SEM – EDS

Este estudio se realizó a través del microscopio electrónico de barrido (SEM), el cual permite obtener imágenes BSE (*Backscattered electrons*: electrones retrodispersados), con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X (EDS) para analizar la composición química de los puntos de interés observados. Se llevó a cabo en el Instituto GEA de la Universidad de Concepción sobre 41 granos de sulfuros en diez de las veinte muestras ya mencionadas, con el objetivo de caracterizar químicamente elementos mayores y menores que pudiesen estar contenidos en estos minerales.

Cada una de las secciones delgadas, requirió ser acondicionada de modo que estuviesen limpias, secas, resistentes a las condiciones de alto vacío del instrumento, y recubiertas con un material que no interviniese en la conductividad eléctrica de la misma (ej.: carbono). Mientras que el microscopio óptico genera imágenes reales, el microscopio electrónico de barrido (SEM) construye una imagen virtual a partir de las señales emitidas por la muestra mediante la proyección de un haz de electrones puntual, bajo condiciones de alto vacío y un rango de escala diametral nanométrico, que barre la superficie de la muestra generando la retrodispersión de los electrones y/o electrones secundarios, que luego son recibidos y procesados mediante *software* para ser transformados en una imagen nano a micrométrica en escala de grises, cuya tonalidad varía en función de la composición del mineral objetivo, otorgando la información cualitativa de cada grano. La intensidad de grises de cada componente varía según el número atómico de los elementos que lo componen, es decir, mientras más claro es el tono de la fase presente, mayor es el contenido en elementos pesados y viceversa. A través del uso complementario del espectrómetro dispersor de energía (EDS), que actúa sobre los rayos X liberados durante la interacción del haz con la superficie de la muestra, son identificados y cuantificados los distintos elementos presentes en cada uno de los puntos objetivos definidos sobre ella, para finalmente obtener la medida composicional semicuantitativa en cada uno de ellos.

Las condiciones operacionales del SEM empleado en este trabajo, correspondieron a un modelo marca TESCAN VEGA LSH, que adicionalmente posee un detector EDS marca Bruker, modelo XFLASH 6130. Los espectros se obtuvieron bajo condiciones analíticas de 25kV mediante *software* Bruker Quantax Esprit 1.9.

6. RESULTADOS

Esta investigación hace especial énfasis en los patrones micro – texturales, asociaciones mineralógicas y composiciones químicas presentes en las distintas generaciones de sulfuros con respecto a diferentes eventos de mineralización desarrollados en el pórfido Cerro Casale.

Fueron elaboradas veinte secciones pulido – transparentes obtenidas desde rocas de sondaje diamantino, para ser caracterizadas petrográfica y calcográficamente por los métodos de microscopía de polarización para luz reflejada y transmitida, y microscopía electrónica de barrido (SEM). De este modo, se permite asignar las distintas asociaciones minerales y patrones texturales para cada muestra. Posteriormente, se seleccionaron 41 granos en diez de las veinte muestras anteriores, para realizar análisis químicos puntuales mediante el método de espectroscopia dispersiva de rayos X (EDS) y así, se obtuvieron las composiciones y concentraciones elementales presentes en cada fase mineral. Todas las descripciones de detalle se encuentran en los anexos I y II.

6.1. Caracterización y Asociación Mineral

Los sulfuros de mayor abundancia son la piritita y calcopiritita, junto con cantidades menores de bornita, molibdenita, covelina y calcosina, y trazas de esfalerita, galena, tennantita y tetraedrita. Estos ocurren comúnmente de manera diseminada, en cúmulos o conformando los distintos eventos de vetillas mientras que, en menor medida, también se observan como reemplazos parciales y rellenos en zonas de debilidad de minerales preexistentes. En cuanto a la mineralogía de alteración coexistente, esta se compone principalmente de cuarzo, feldespato potásico, biotita, sericita, clorita, calcita, anhidrita, turmalina, arcillas amorfas y pirofilita. En la Tabla 6.1 se presenta un resumen de la descripción de detalle para cada muestra analizada.

Tabla 6.1: Resumen de la caracterización petrocalcográfica realizada a través de microscopía óptica en veinte secciones pulido - transparentes. Abreviaciones alb: albita; alu: alunita; anh: anhidrita; arc: arcillas; BQz: cuarzo bandedado; bt: biotita; cc: calcita; ccp: calcopirita; chl: clorita; cs: calcosina; cv: covelina; ep: epidota; fsp: feldespato potásico; gn: galena; gt: goethita; hm: hematita; lm: limonita; mo: molibdenita; mt: magnetita; prl: pirofilita; py:pirita; qz: cuarzo; rt: rutilo; ser: sericita; tur: turmalina.

Muestra	Prof (m)	Clasificación	Minerales de alteración	Minerales metálicos	Tipo de vetilla
SM-01	240	Brecha magmático hidrotermal	Fsp, bt, qz, ser, anh, arc, chl	Hm, mt, rt, gt, lm, ccp	A1
SM-02	265	Brecha ígnea	Qz, bt, fsp, ser, arc	Gt, hm, rt, mt	A1
SM-03	35	Pórfido diorítico	Qz, ser, arc, bt, chl, prl	Py, rt, ccp, mt, cv, cs	-
SM-04	33	Pórfido diorítico	Qz, fsp, ser, bt, chl, arc	Hm, mt, lm, gt, ccp, rt	BQz, A1
SM-05	120	Diorita porfídica	Qz, ser, chl, cc, fsp, ep ,prl, arc, alu, alb	Py, ccp, mt, hm, rt	C3
SM-06	1380	Toba cristalina	Qz, fsp, anh, ser, arc, cc, chl	Ccp, hm, mt, mo, py	A2, BQz, C3
SM-07	639	Probable roca volcanoclástica	Qz, ser, fsp, anh, arc, bt, prl, cc	Py, esf, gn, ccp, hm	C3, E
SM-08	737	Andesita	Qz, bt, fsp, anh, ser, cc, qz, arc	Py, ccp, hm, rt, gt	D
SM-09	286	Pórfido diorítico	Qz, ser, bt, arc, chl, prl, alu, ep, tur	Py, ccp, mt, hm, rt, cv, cs	C1, C2
SM-10	390	Pórfido diorítico	Qz, fsp, ser, chl, bt, ep, arc, cc	Py, ccp, hm, mt	C3
SM-11	460	Pórfido diorítico	Qz, ser, arc, fsp, anh, bt	Py, ccp, mt, rt	D
SM-12	564	Brecha magmático hidrotermal	Qz, ser, fsp, arc, anh, chl	Py. Ccpy.mp. hm. Mt. rt	A1, A2, B
SM-13	592	Brecha magmático hidrotermal	Qz, fsp, bt, ser, anh, chl, arc, cc	Hm, mt, py, ccp	A1, C3
SM-14	982	Andesita	Bt, fsp, anh, qz	Ccp, mt, bn	A1, A2
SM-15	1098	Monzodiorita porfídica	Qz, ser, arc, anh, chl, fsp, bt, cc	Ccp, mt, hm, bn, py	A2, C3
SM-16	600	Pórfido diorítico	Qz, fsp, ser, arc, anh, chl	Hm, ccp, bn, mt	M, A1, A2, C3
SM-17	428	Pórfido diorítico	Qz, ser, arc, chl, fsp, anh, bt	Hm, mt, ccp, bn	A1, A2, C3
SM-18	577	Brecha magmático hidrotermal	Qz, fsp, bt, anh, ser, arc, chl, cc	Ccp, mt, hm, bn	A2
SM-19	432	Brecha magmático hidrotermal	Qz, fsp, bt, arc, ser, anh, chl	Ccp, hm, mt, bn	A1, A2, C3
SM-20	1355	Probable roca volcanoclástica	Qz, arc, fsp, anh, bt, ser, chl, cc	Mt, ccp, hm, bn	A1, A2, C3

6.1.1. Mineralogía Metálica

La pirita, el sulfuro más abundante de Cerro Casale, fue identificada en cuatro generaciones descritas según temporalidad inferida. La más temprana (Py I), corresponde a granos subhedrales a euhedrales, con tamaños de 100 a 1.000 μm , de ocurrencia diseminada y en cúmulos, sobre la masa fundamental de intrusivos de composición diorítica y la matriz de brechas asociadas a profundidades de ~ 1.380 m. Ocurre principalmente junto a calcopirita y magnetita (Figura 6.1A), y en menor medida con hematita. De manera particular, se manifiesta como reemplazo junto con calcopirita (Ccp I) sobre fenocristales de plagioclasas y pseudomorfo de ferromagnesianos. Un segundo tipo de pirita (Py II) se observa en vetillas de cuarzo (Qz IV) del tipo C (Figura 6.1B) hospedadas en rocas intrusivas de composición diorítica y brechas magmático hidrotermales a \sim

300 m de profundidad, junto con calcopirita, especularita, molibdenita, calcita y clorita. Localmente ocurre como cristal anhedral de 100 μm , en contacto simple con calcopirita (Ccp III) y especularita, sobre la matriz de rocas volcanoclásticas. Un tercer tipo de pirita (Py III) se ve únicamente formando parte de vetillas de cuarzo tipo D (Figura 6.1C) con calcita y anhidrita, hospedadas en rocas volcánicas andesíticas e intrusivas de composición diorítica a 460 - 740 m de profundidad. Un último caso de pirita (Py IV) se encuentra como relleno de espacios abiertos en vetillas polimetálicas (tipo E) con esfalerita, galena (Figura 6.1D), calcita y adularia, en rocas volcanoclásticas a \sim 640 m de profundidad. Cabe destacar que a través de imágenes BSE, fue posible identificar la coexistencia de tetraedrita en planos de debilidad de pirita (Py IV) (Capítulo 6.2, figura 6.5A). Existe un caso único de pirita, identificada mediante imágenes BSE, que no es posible asignar a las generaciones anteriores, de tipo subhedral con microinclusiones de bornita (Figura 6.1E), sobre la matriz de una brecha magmático hidrotermal a 564 m de profundidad. Esta podría corresponder a una pirita más antigua que las mencionadas o contemporánea a la primera generación.

El primer tipo de calcopirita (Ccp I) es de amplia distribución y se encuentra a profundidades de hasta 1.380 m. Se observa en rocas intrusivas de composición diorítica y monzodiorítica, rocas volcánicas andesíticas, cuerpos de brecha y tobas cristalinas. Se presenta como granos anhedrales de 100 a 700 μm diseminados tanto en la masa fundamental como en la matriz de las unidades mencionadas, en contacto simple o intercrecidos con pirita (Py I) y magnetita (Figura 6.1A), y en menor medida con hematita. En algunos casos, este tipo de calcopirita está reemplazada desde los bordes por un intercrecimiento entre covelina y calcosina (Figura 6.1F), y también por el reemplazo parcial a total del cristal por bornita (Figura 6.2A), no obstante, ambos reemplazos resultan ser mutuamente excluyentes. Localmente se identificaron reemplazos de granos de calcopirita (Ccp I) sobre fenocristales de plagioclasas y relictos de ferromagnesianos, asociados a pirita (Py I) y magnetita. El segundo tipo de calcopirita (Ccp II), forma parte de vetillas de cuarzo tempranas tipo A (Qz I) hospedadas en el mismo tipo de litologías que la primera generación. Ocurre como relleno de espacios abiertos y diseminada en este tipo de vetilla junto a hematita, magnetita, anhidrita, feldespato potásico y biotita. En algunos granos, al igual que con la Ccp I, se observó con reemplazo parcial de bornita. Cabe mencionar que a través de imágenes BSE, se

encontró rellena en zonas de debilidad por galena y tennantita de eventos posteriores. Este tipo de calcopirita está por sobre los 1.000 m de profundidad.

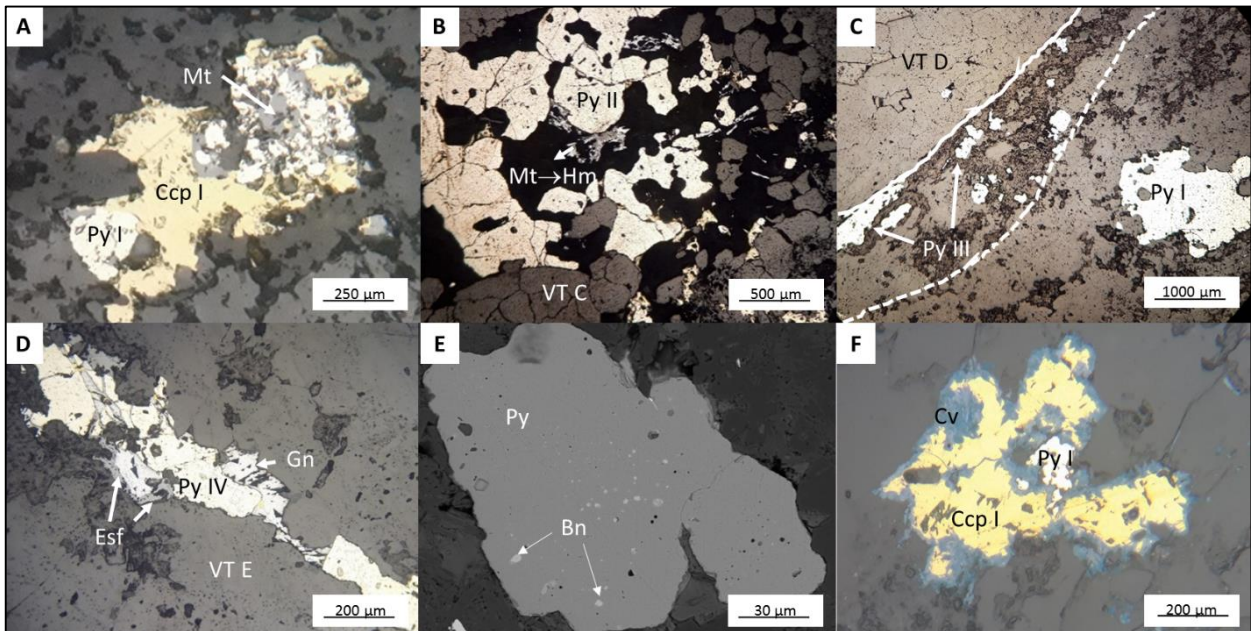


Figura 6.1: Fotomicrografías ilustrando texturas de sulfuros por luz reflejada y de electrones retrodispersados. A) Py I, Ccp I y Mt intercrecidas sobre masa fundamental de pórfido diorítico con alteración potásica. B) Py II, Mt y Hm (martitización) en vetilla tipo C. C) Py III como halo de vetilla D + sericita y Py I subhedral diseminada. D) Py IV en vetilla tipo E junto con Esf y Gn. E) Imagen BSE de Py euhedral con micro-inclusiones de Bn. F) Py I subhedral en contacto simple con Ccp I + Cv. Abreviaciones: Bn: bornita; Ccp: calcopirita; Cv: covelina; Gn: galena; Hm: hematita; Mt: magnetita; Py: pirita; VT: vetilla.

El tercer tipo de calcopirita (Ccp III), ocurre como relleno de espacios abiertos en vetillas de cuarzo tipo C con pirita (Py II), molibdenita, especularita, calcita y clorita, hospedadas en rocas volcánicas de composición andesítica, rocas volcanoclásticas, cuerpos intrusivos dioríticos y brechas asociadas a profundidades de hasta ~ 1.350 m (Figuras 6.2B, C). En algunos casos presentó exsoluciones de bornita (Figura 6.2B). De manera local, este tipo de calcopirita se observó como cristal anhedral diseminado en contacto con especularita y pirita (Py II).

La bornita, menos habitual que los minerales anteriores, se observa en muestras por sobre los ~ 1.000 m de profundidad, como un reemplazo parcial a total de calcopirita tipo I (Figura 6.2A), II y III, y como exsolución sobre calcopiritas tipo II y III (Figura 6.2B).

Dos tipos de molibdenita son distinguidos. Un primer caso (Mo I), como relleno de espacios abiertos en vetillas de cuarzo tipo B (Qz III) (Figura 6.2C), y un segundo caso (Mo II), diseminada

en vetillas de cuarzo tipo C (Qz IV) junto con calcopirita (Ccp III) (Figura 6.2C), pirita (Py III), specularita, calcita y clorita hospedadas en los distintos tipos de roca. Como hallazgos del uso de SEM – EDS, se observó rellenos posteriores de esfalerita en planos de debilidad de ambos tipos de molibdenita, y de metales ricos en Ag en la generación tipo I (Capítulo 6.2, figura 6.5B).

Fue posible registrar un tipo de galena y de esfalerita, en la mayoría de los casos coexistiendo entre sí, en vetillas tipo E junto con pirita (Py IV), adularia, baritina y yeso, hospedadas en rocas volcanoclásticas. Presentan una textura de relleno de espacios abiertos en vetilla (Figura 6.2E), y rellenando zonas de debilidad en pirita tipo IV (Capítulo 6.2, figura 6.5A). Se encuentran a profundidades mayores a los 600 m, tanto en vetillas como fragmentos de estas. Complementando con imágenes BSE, se observó localmente galena sobre zonas de debilidad de calcopirita tipo II (Figura 6.2F) y junto con esfalerita en bordes de molibdenita tipo I.

Se identificaron fases minerales del grupo de la tennantita – tetraedrita mediante el análisis SEM – EDS que no fueron detectadas por microscopía óptica tradicional, como relleno de zonas de debilidad en Ccp II (Figura 6.2F), y en esfalerita y Py IV de la vetilla E (Capítulo 6.2, figura 6.5A).

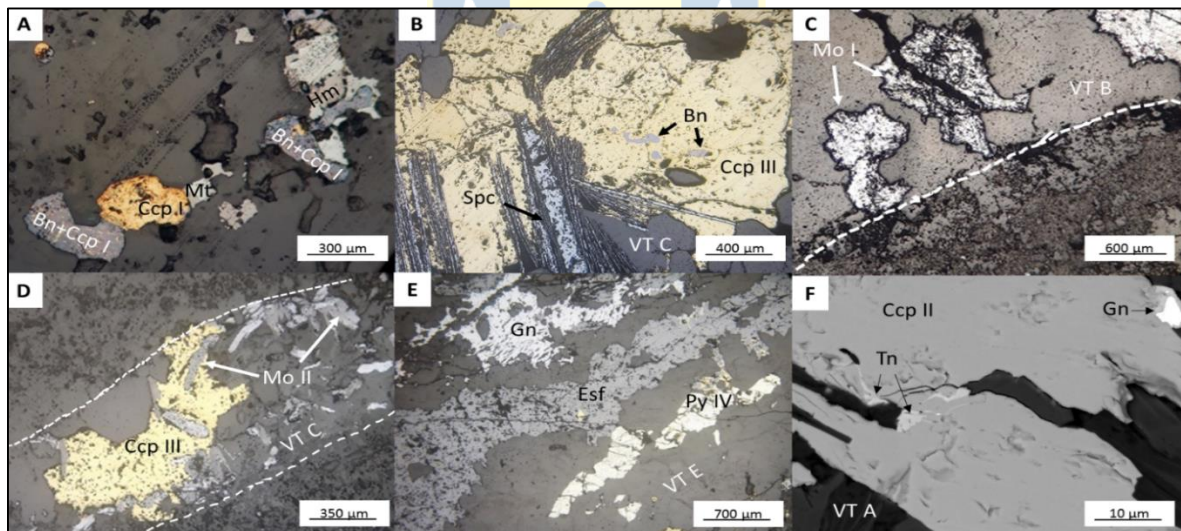


Figura 6.2: Fotomicrografías ilustrando texturas de sulfuros por luz reflejada y de electrones retrodispersados. A) Ccp I con reemplazo total de Bn en contacto simple con Mt y Hm. B) Exsoluciones de Bn sobre Ccp III en vetilla tipo C junto Spc. C) Mo I como relleno de espacios abiertos en vetilla tipo B. D) Mo II disseminada en vetilla tipo C coexistiendo con Ccp III como relleno de espacios abiertos. E) Gn, Esf y Py IV como rellenos de espacios abiertos en vetillas tipo E. F) Tn y Gn relleno de zonas de debilidad en Ccp II. Abreviaciones: Bn: bornita; Ccp: calcopirita; Esf: esfalerita; Gn: galena; Hm: hematita; Mo: molibdenita; Py: pirita; Spc: specularita; Tn: tennantita; VT: vetilla.

Sólo se observa un tipo de covelina y calcosina relacionadas entre sí, de escaso desarrollo (< 1 %) e intercrecidas. Se encuentran exclusivamente como reemplazo hacia los márgenes de cristales de calcopirita tipo I (Figura 6.1A). Se trata de finos cristales aciculares, alcanzando tamaños de hasta 80 μm . Los registros no superan los 300 m de profundidad y ocurren sobre rocas intrusivas de composición diorítica.

6.1.2. Mineralogía de Alteración

Los productos de alteración que predominan en Cerro Casale siguen el patrón común de otros sistemas tipo pórfido y, además, concentran el mayor volumen de mena en las alteraciones potásica y sericita – clorita, que en general presentan minerales de alteración como feldespato potásico, biotita, cuarzo, anhidrita, sericita, clorita y calcita, y sulfuros como pirita, calcopirita, bornita y molibdenita.

El dominio potásico es el cuerpo de alteración más importante en Cerro Casale, tanto por su extensión como por la precipitación de minerales de Cu y Fe (Py I, Ccp I), y el desarrollo conjunto de vetillas tempranas de cuarzo con mineralogía similar. Se caracteriza por una biotita de alteración de tipo anhedral, con color pardo, tamaños que no suelen superar los 100 μm , diseminada o en agregados cumulares distribuidos heterogéneamente sobre la masa fundamental de rocas intrusivas, la matriz de rocas volcánicas, volcanoclásticas (Figura 6.3A) y de los distintos cuerpos de brechas. También ocurre como producto de la alteración penetrativa en pseudomorfos prismáticos de minerales máficos preexistentes como hornblenda y biotita de tamaños $\sim 500 \mu\text{m}$. Lo compone la asociación feldespato potásico + biotita + cuarzo \pm magnetita \pm anhidrita y sulfuros de pirita (Py I) y calcopirita (Ccp I). Si bien la ocurrencia de anhidrita es común en los distintos eventos de alteración del sistema hidrotermal, es típico de esta asociación (4 – 10 %), como cristales subhedrales inmersos en la masa fundamental y matriz de las unidades porfídicas, brechas hidrotermales y unidades volcánicas (Figura 6.3B), o como cristales más finos sobre relictos de plagioclasa. En vetillas de cuarzo tipo A, se observa junto con cuarzo (Qz I), biotita, magnetita, hematita, calcopirita (Ccp II) y bornita. En vetillas de cuarzo bandeadas (Qz II), presentan texturas de relleno. En vetillas de cuarzo tipo D (Qz V), el contenido de anhidrita es más bien subordinado, rellenando espacios abierto con calcita y pirita.

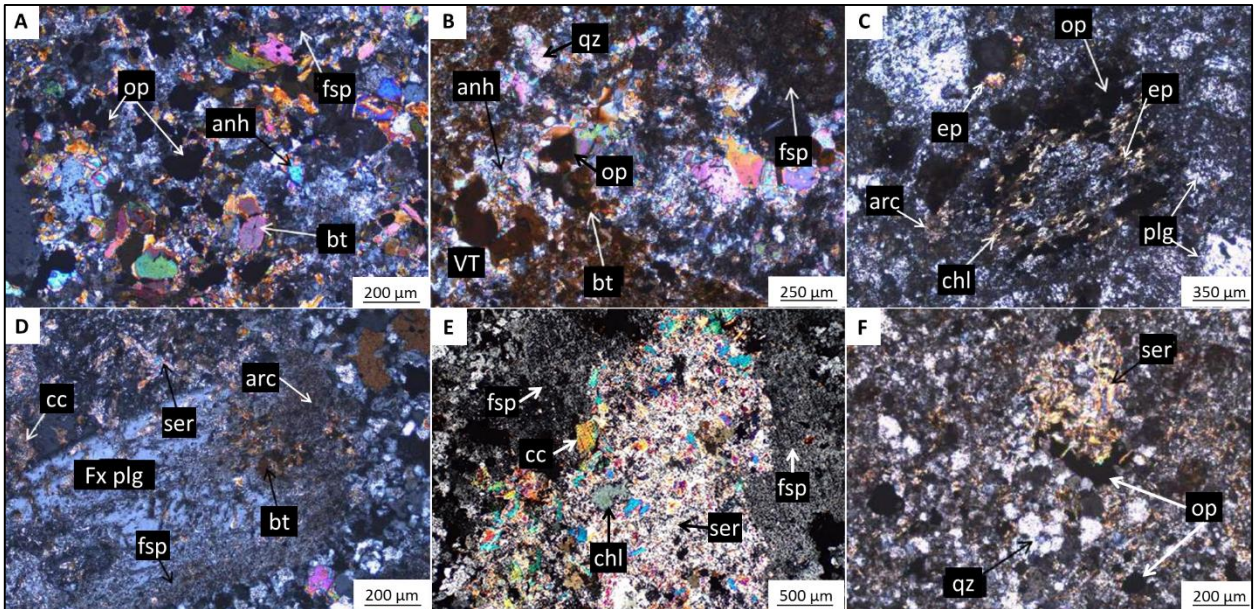


Figura 6.3: Fotomicrografías ilustrando los principales productos de alteración del Pórfido Cerro Casale. A) Toba lítica cuya matriz se compone por bt + fsp + anh y diseminados opacos (ccp-py). B) Roca volcánica (probablemente andesita) compuesta por fsp + bt ± qz ± anh y minerales opacos subordinados (py-ccp). C) Roca volcánica con pseudomorfo de ferromagnesiano reemplazado por chl ± ep e impregnaciones metálicas (opacos). En la matriz se observan microlitos de plg, cúmulos de arcillas y minerales opacos. D) Pórfido diorítico con fenocristal de plg moderadamente argilizado. Posee un leve metasomatismo potásico hacia los bordes y cantidades menores de bt. Está inmerso en una masa fundamental con ser ± cc. E) Brecha magmático hidrotermal con fragmento cristalino, probablemente plagioclasa, intensamente afectado por ser + chl ± cc y un metasomatismo potásico moderado hacia los bordes. F) Pórfido diorítico cuya masa fundamental está constituida por qz + ser ± arcillas amorfas y diseminados de minerales opacos (py). Abreviaciones: anh: anhidrita; arc: arcillas amorfas; bt: biotita; cc: calcita; chl: clorita; ccp: calcopirita; ep: epidota; fsp: feldespato potásico; Fx: fenocristal; op: opaco; plg: plagioclasa; py: pirita; qz: cuarzo; ser: sericita; VT: vetilla.

Respecto al conjunto propilítico, altera intensamente relictos de plagioclasa primaria a epidota ± clorita. En general no se tienen sulfuros asociados y es bastante restringida. Caracterizada por clorita selectiva, diseminada, en cúmulos y parches, reemplazando biotita hidrotermal y relictos de fenocristales máficos, junto con cantidades menores de epidota ± clorita (Figura 6.3C). La presencia de arcillas de distinta composición junto con cantidades menores a traza de sericita y clorita, definen el conjunto de alteración argílica intermedia, la cual oblitera la mineralogía primaria de las distintas unidades de roca (Figura 6.3D).

El dominio de alteración sericita – clorita se define por la asociación sericita + clorita ± especularita ± calcita, junto a un gran contenido en sulfuros. Los fenocristales de ferromagnesianos como hornblenda se observan intensamente alterados a clorita, y las plagioclasas a sericita y clorita

(Figura 6.3E). La presencia de especularita sólo se observa en este tipo de alteración y en las vetillas de cuarzo tipo C (Qz IV), junto con calcita, clorita y sulfuros de calcopirita (Ccp III), molibdenita (Mo II) y pirita (Py II).

En las zonas altas del depósito, se observan muestras de unidades porfídicas con alteración fílica (Figura 6.3F), generalmente dada por el conjunto cuarzo + sericita \pm pirita \pm turmalina que, a su vez, obliteran la matriz de las brechas asociadas a estas.

La distribución de la alteración argílica avanzada es de escaso desarrollo, y sólo se observa próximo a la superficie. Está compuesta por arcillas supérgenas que alteran relictos de plagioclasas, finos cristales aciculares de pirofilita en modo de parches y cúmulos distribuidos heterogéneamente, con tamaños < 1 mm, y menores cantidades de alunita. Distintos tipos de arcilla asociados a esta alteración, también se observan en el evento de vetillas tipo E (polimetálica), junto con adularia, calcita, yeso, y sulfuros como esfalerita, galena, pirita (Py IV), tenantita y tetraedrita. La presencia de un nivel de óxidos e hidróxidos de hierro como la hematita, rutilo, goethita y limonita, están asociados a procesos supérgenos posteriores, así como también el desarrollo de la asociación covelina – calcosina en los bordes de cristales de calcopirita (Ccp I).

6.2. Análisis Químico

A continuación, se presentan los resultados detallados de 66 análisis puntuales sobre 41 granos de sulfuros, 15 corresponden a pirita, 16 a calcopirita, 7 a bornita, 3 a molibdenita, 5 a esfalerita, 6 a galena, 4 a tennantita, 5 a tetraedrita y 5 a covelina. Los datos fueron procesados para el cálculo estequiométrico de la fórmula química de cada fase mineral, y para comparar con valores estándar y la posible presencia de reemplazos elementales. El resumen de los resultados se presenta en la tabla 6.3.

El uso complementario de las imágenes de electrones retrodispersados fue utilizado para escoger cuidadosamente superficies homogéneas con tal de minimizar la interferencia de otros minerales al emplear el espectrómetro.

6.2.1. Pirita

Las distintas generaciones de pirita evaluadas en general presentaron una composición promedio similar a la estándar (S: 53,4 wt. %; Fe: 46,55 wt. %). No se registran elementos anómalos. No se observan zonaciones en los granos evaluados. El contenido de Fe respecto al S mantiene una correlación positiva ($R^2 = 0,962$; Figura 6.4A). La cantidad de S es de 50,02 a 55,38 wt. % (prom.: 52,52 wt. %; desv. est.: 1,35), y de Fe entre 44,62 a 49,98 wt. % (prom.: 47,41 wt. %; desv. est.: 1,31), lo cual respecto a la composición estándar para pirita señala un menor contenido promedio de S, y mayor de Fe. Sólo un cristal de los 15 analizados, presentó un 1,02 wt. % en Cu (Figura 6.1A).

6.2.2. Calcopirita

La composición de las distintas generaciones de calcopirita fue similar al estándar (34,94 wt. % S; 30,43 wt. % Fe; 34,63 wt. % Cu), con registros de 33,30 a 36,40 wt. % en S, 28,60 a 34,08 wt. % en Fe y 30,70 a 35,97 wt. % en Cu. Según el coeficiente de determinación, fueron calculados valores bajos, demostrando una pobre correlación entre el contenido tanto de Fe y Cu con respecto al S, y medianamente positiva para el contenido de Cu en relación al Fe (Fe vs. S: $R^2 = 0,052$; Cu vs. S: $R^2 = 0,162$; Cu vs. Fe: $R^2 = 0,572$), lo cual es esperable considerando un tamaño muestral de 16 granos de calcopirita (Figura 6.4). Se destaca la presencia de un grano, observado sobre vetilla de cuarzo tipo C (Ccp III), con 1,90 wt. % de Sb (Tabla 6.4.).

6.2.3. Bornita

Al igual que el caso de pirita y calcopirita, el cálculo promedio ($n = 7$, prom.: 63,04 wt. % Cu; 11,08 wt. % Fe; 25,87 wt. %) presentó mínimas variaciones con respecto a la composición estándar de bornita: 63.31% Cu, 11.13% Fe y 25.56%. Sólo se destaca un incremento generalizado en el contenido de Cu con valores de hasta 68,02 wt. %.

6.2.4. Molibdenita

Si bien las muestras de molibdenita ($n = 3$) muestran una composición elemental estándar, se observan fluctuaciones promedio del contenido con respecto al estándar: 52,33 vs 59,94 wt. % de Mo, 47,67 vs 40,06 wt. % de S.

Tabla 6.2: Síntesis de resultados EDS de sulfuros pre - minerales, inter - minerales y post - minerales del depósito Cerro Casale en wt.%. (b.l.d: bajo el límite de detección).

Mineral	Estadísticos	S	Fe	Cu	Pb	Zn	Mo	Ag	As	Sb
Py (n = 15)	Min	50.02	44.62	1.02	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Max	55.38	49.98	1.02	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Med	52.52	47.41	1.02	-	-	-	-	-	-
	Desviación estándar	1.35	1.31	-	-	-	-	-	-	-
Ccp (n = 16)	Min	33.30	28.60	30.70	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	1.9
	Max	36.40	34.08	35.97	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	1.9
	Med	34.86	31.47	33.55	-	-	-	-	-	1.9
	Desviación estándar	0.92	1.55	1.46	-	-	-	-	-	-
Bn (n = 7)	Min	24.40	7.43	59.11	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Max	27.63	14.36	68.02	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Med	25.87	11.08	63.04	-	-	-	-	-	-
	Desviación estándar	1.23	2.09	2.82	-	-	-	-	-	-
Mo (n = 3)	Min	44.86	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	47.89	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Max	52.11	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	55.14	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Med	47.67	-	-	-	-	52.33	-	-	-
	Desviación estándar	3.89	-	-	-	-	3.89	-	-	-
Esf (n = 5)	Min	32.79	4.04	b.l.d	b.l.d	61.42	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Max	35.37	4.04	b.l.d	b.l.d	67.21	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Med	34.65	4.04	-	-	64.54	-	-	-	-
	Desviación estándar	1.09	-	-	-	2.06	-	-	-	-
Gn (n = 6)	Min	8.12	0.76	3.14	58.97	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Max	41.03	0.76	3.14	90.94	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Med	16.64	0.76	3.14	82.71	-	-	-	-	-
	Desviación estándar	12.73	-	-	12.30	-	-	-	-	-
Tn (n = 4)	Min	18.30	1.14	14.08	b.l.d	1.84	b.l.d	59.07	5.06	b.l.d
	Max	29.85	11.23	52.11	b.l.d	6.81	b.l.d	60.70	18.67	b.l.d
	Med	23.55	5.15	31.37	-	4.33	-	59.89	9.11	-
	Desviación estándar	5.76	5.35	19.76	-	3.51	-	1.15	6.41	-
Ttr (n = 5)	Min	26.41	2.99	31.89	b.l.d	7.23	b.l.d	1.07	6.74	7.38
	Max	31.43	4.27	41.47	b.l.d	17.14	b.l.d	1.38	10.43	18.91
	Med	27.97	3.63	38.13	-	9.30	-	1.23	8.13	14.53
	Desviación estándar	2.12	0.91	3.76	-	4.38	-	0.22	1.44	5.38
Cv (n = 5)	Min	29.58	1.35	62.86	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Max	34.97	5.09	66.18	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d	b.l.d
	Med	33.13	2.87	65.14	-	-	-	-	-	-
	Desviación estándar	2.20	1.97	1.32	-	-	-	-	-	-

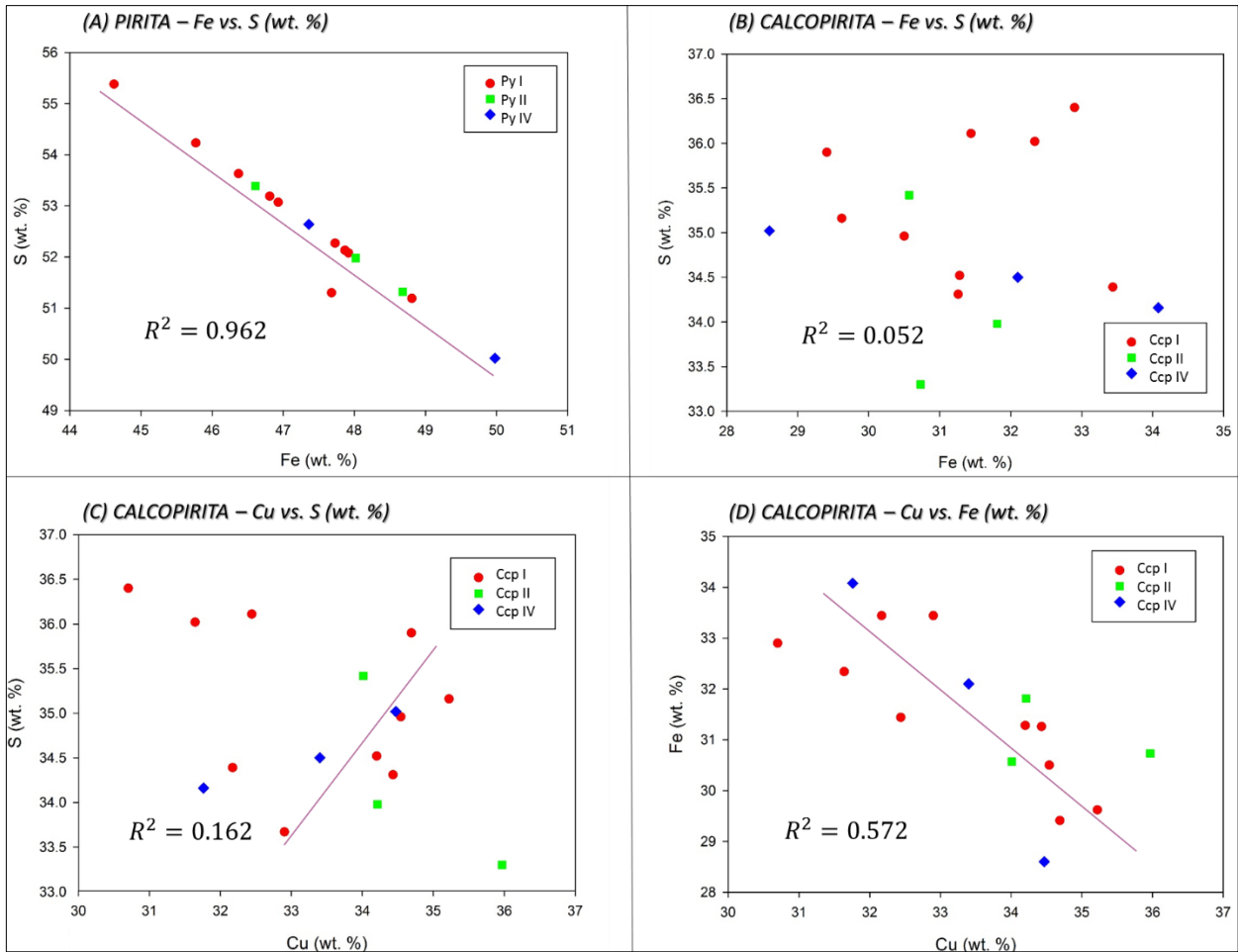


Figura 6.4: Diagramas de dispersión para pirita y calcopirita basado en análisis EDS. Enseña la relación entre elementos mayores que componen las distintas generaciones de Py y Ccp del depósito Cerro Casale. A) Py: Fe vs. S; B) Ccp: Fe vs. S; C) Ccp: Fe vs. Cu; D) Ccp: S vs. Cu. Los datos originales se presentan en las tablas 6.4 y 6.5.

Tabla 6.3: Resultados SEM – EDS para las distintas generaciones de sulfuros presentes en el depósito Cerro Casale. (b.l.d: bajo el límite de detección).

Mineral	S (wt. %)	Fe (wt. %)	Cu (wt. %)	Pb (wt. %)	Zn (wt. %)	Mo (wt. %)	Ag (wt. %)	As (wt. %)	Sb (wt. %)
Py I	51.19	48.81	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	51.30	47.68	1.02	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	53.07	46.93	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	54.23	45.77	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	53.63	46.37	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	52.13	47.87	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	55.38	44.62	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	52.08	47.92	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	53.19	46.81	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py I	52.27	47.73	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py II	51.32	48.68	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py II	53.39	46.61	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py II	51.98	48.02	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py IV	50.02	49.98	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Py IV	52.64	47.36	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	24.40	12.15	63.45	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	24.55	7.43	68.02	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	27.63	11.57	60.80	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	25.39	10.24	64.37	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	26.53	14.36	59.11	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	27.00	10.77	62.23	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Bn	25.60	11.07	63.33	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	36.40	32.90	30.70	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	34.96	30.50	34.54	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	34.52	31.28	34.20	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	35.16	29.62	35.22	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	35.90	29.41	34.69	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	34.39	33.44	32.17	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	34.31	31.26	34.43	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	36.02	32.34	31.64	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp I	33.67	33.44	32.90	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp II	36.11	31.44	32.44	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp II	33.30	30.73	35.97	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp II	33.98	31.81	34.21	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp III	35.42	30.57	34.01	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp III	34.50	32.10	33.40	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp III	34.16	34.08	31.76	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ccp III	35.02	28.60	34.47	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	1.90

Tabla 6.4: Continuación tabla 6.4. (b.l.d: bajo el límite de detección).

Mineral	S (wt. %)	Fe (wt. %)	Cu (wt. %)	Pb (wt. %)	Zn (wt. %)	Mo (wt. %)	Ag (wt. %)	As (wt. %)	Sb (wt. %)
Mo	52.11	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	47.89	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Mo	46.03	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	53.97	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Mo	44.86	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	55.14	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Esf	32.79	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	67.21	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Esf	34.54	4.04	b.l.d.	b.l.d.	61.42	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Esf	35.21	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	64.79	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Esf	35.33	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	64.67	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Esf	35.37	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	64.63	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ga	8.12	0.76	3.14	87.97	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ga	10.38	b.l.d.	b.l.d.	89.62	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ga	10.93	b.l.d.	b.l.d.	89.07	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ga	9.06	b.l.d.	b.l.d.	90.94	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ga	20.30	b.l.d.	b.l.d.	79.70	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Ga	41.03	b.l.d.	b.l.d.	58.97	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Tn	27.01	3.09	44.42	b.l.d.	6.81	b.l.d.	b.l.d.	18.67	b.l.d.
Tn	19.03	1.14	14.08	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	60.70	5.06	b.l.d.
Tn	18.30	b.l.d.	14.87	b.l.d.	1.84	b.l.d.	59.07	5.91	b.l.d.
Tn	29.85	11.23	52.11	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	6.80	b.l.d.
Ttr	28.56	2.99	40.61	b.l.d.	7.30	b.l.d.	b.l.d.	10.43	10.12
Ttr	26.72	b.l.d.	38.01	b.l.d.	7.38	b.l.d.	1.07	8.41	18.41
Ttr	26.41	b.l.d.	38.65	b.l.d.	7.47	b.l.d.	1.38	7.18	18.91
Ttr	31.43	4.27	31.89	b.l.d.	17.14	b.l.d.	b.l.d.	7.87	7.38
Ttr	26.71	b.l.d.	41.47	b.l.d.	7.23	b.l.d.	b.l.d.	6.74	17.84
Cv I	34.97	2.17	62.86	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Cv I	32.47	1.35	66.18	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Cv I	29.58	5.09	65.33	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Cv I	34.47	b.l.d.	65.53	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.
Cv I	34.18	b.l.d.	65.82	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.	b.l.d.

6.2.5. Esfalerita

Según las señales químicas observadas, se tienen trazas de Fe (4,04 wt. %) que pueden formar parte de la molecula estándar (Zn, Fe)S (64,06 wt. % de Zn; 2,88 wt. % de Fe; 33,06 wt. % de S). En este caso se observa una disminución del contenido de Zn respecto al promedio (61,42 wt. %), lo que implica sustitución de Fe por Zn. Para las otras muestras (n = 5) no se registran valores de Fe, y el contenido de Zn y S se aproxima al estándar (64,54 wt. % de Zn; 34,65 wt. % de S).

6.2.6. Galena

Al igual que para esfalerita, se observaron trazas de Fe y Cu en una muestra de galena (0.76 wt. % Fe; 3,14 wt. % Cu). Esto puede producirse por la posibilidad de contaminación debido al tamaño de la muestra (~ 2 µm), y que en este caso se encuentra junto a calcopirita, la cual sí posee ambos

componentes (Figura 6.2F). Respecto a las otras muestras ($n = 6$), no se observan variaciones importantes con respecto a la composición estándar (82,71 vs. 86,60 wt. % Pb; 16,64 vs. 13,40 wt. % S)

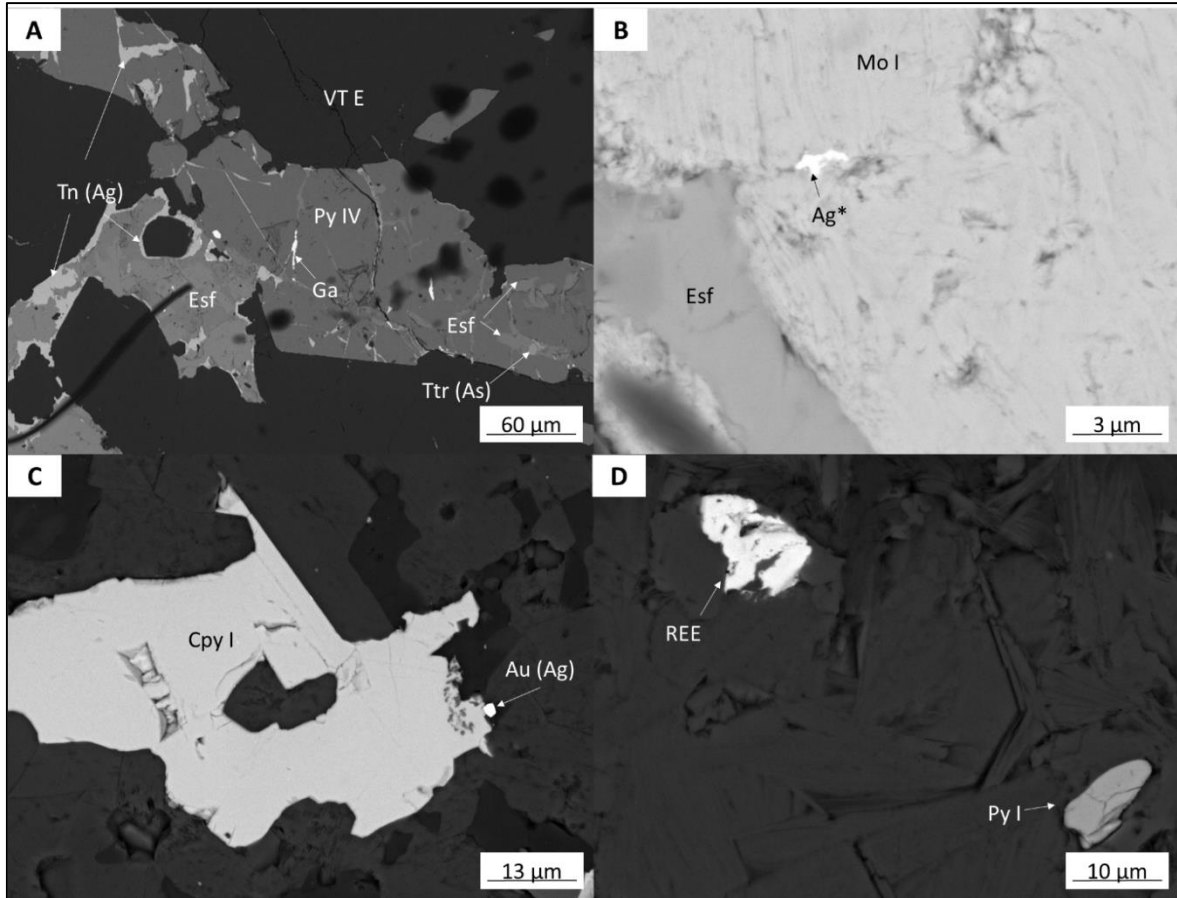


Figura 6.5: Imágenes BSE de enriquecimientos en metales preciosos y minerales anómalos coexistiendo con distintas generaciones de sulfuros. A) Vetilla tipo E con rellenos en zonas de debilidad de Py IV y esfalerita, de minerales con concentraciones anómalas de Ag y As: Tennantita argentífera y Tetraedrita arsenical; B) Desarrollo de pequeñas microinclusiones de Ag nativa en molibdenita tipo I en vetillas tipo B; C) Fino cristal de Au nativo coexistiendo con Ccp I sobre la matriz de una Andesita; D) Presencia de un tipo indeterminado de REE sobre la matriz toba cristalina.

6.2.7. Tennantita - Tetraedrita

Se observaron dos muestras con concentraciones importantes de Ag (Figura 6.5A), corroborando la existencia de tennantita argentífera con 59,07 y 60,70 wt. % de Ag junto con pequeñas cantidades de As adicionales a estas muestras (5,91 y 5,06 wt. % respectivamente). Se observa otro caso de tennantita sin la cantidad estándar de Fe (3,80 wt. %), y que ha sido reemplazado por otros componentes como el Zn (1,84 wt. %). Casos similares ocurren en tetraedrita, donde se

observan concentraciones anómalas de arsénico, denominando la presencia de tetraedritas arsenicales con rangos de 6.74 a 10.43 wt. % de As. De igual manera, se tienen mínimas concentraciones de Ag en algunas muestras de tetraedrita, con valores entre 1.07 a 1.38 wt. %.

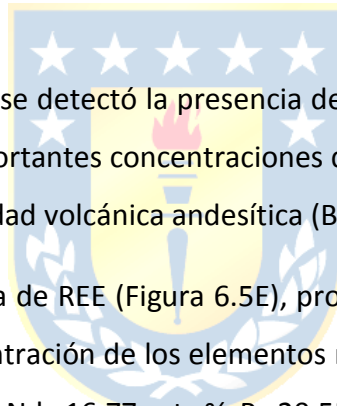
6.2.8. Covelina - Digenita

En general, la composición es similar la estándar (Cu: 66,46%; S: 33,54%), con rangos que van desde 62,86 a 66,18 wt. % Cu y 29,58 a 34,97 wt. % de S (prom: 65,14% Cu; 33,13% S ; desv. est.: 1,32 Cu; 2,20 S). En algunos casos se detectaron concentraciones menores de Fe: 1,35 a 5,09 wt. % (prom.: 2.87 %; desv. est.: 1.97), lo que probablemente puede atribuirse al reemplazo de calcopirita hacia los bordes (CuFeS_2) y por ende, al margen de error esperable producto del diámetro del rayo incidente ($\sim 2 \mu\text{m}$) al encontrarse reemplazando calcopirita hacia los bordes.

6.2.9. Otras Especies

Durante el análisis mediante EDS, se detectó la presencia de Au libre asociado con Ccp I (Figura 6.5C), de tamaño $\sim 2 \mu\text{m}$, con importantes concentraciones de Ag (10,09 wt. %). Esta muestra se encontró sobre la matriz de la unidad volcánica andesítica (BAVS).

Fue posible identificar la presencia de REE (Figura 6.5E), probablemente correspondiente a una monacita - (Ce) debido a la concentración de los elementos mayoritarios presentes: 32.20 wt. % Ce; 15.91 wt. % La; 10.82 wt. % Nd; 16.77 wt. % P; 20.55 wt. % O. Además, esta presentó cantidades mínimas de Ag (2.41 wt. %).



7. DISCUSIÓN

El emplazamiento de los pórfidos interminerales con distinta composición (IMC1, IMC2, IMMZ, LMOT) es el fiel reflejo de un sistema multiepisódico que implica, genéticamente, una serie de eventos complejos que inician con la generación de un magma hidratado en la zona del arco, hasta finalizar con la precipitación de los minerales metálicos (William - Jones & Heinrich, 2005). Numerosos estudios en reconocidos sistemas tipo pórfido Cu - Au - (Mo), se enfocan en constreñir la evolución de fluidos magmáticos ricos en S y volátiles que circulan por la corteza superior, y los procesos asociados que desencadenan el desarrollo de estos sistemas (p.ej. Gustafson *et al.*, 2001; Makshev *et al.*, 2004). En este capítulo se tratan aspectos y procesos generales que fueron responsables de la formación y distribución de sulfuros y minerales asociados.

7.1. Secuencia Paragenética

A partir de las distintas características texturales y asociaciones minerales de mena y ganga, es posible proponer una potencial secuencia paragenética para el yacimiento Cerro Casale, subdividiendo la etapa hidrotermal en tres fases principales, vale decir, fase temprana, fase intermedia y fase tardía, con la ocurrencia posterior de los procesos supérgenos. Cabe destacar que son múltiples las generaciones de sulfuros que tienen su desarrollo durante la etapa hidrotermal, mientras que sólo se observan trazas de sulfuros secundarios como producto de procesos supérgenos. En la tabla 6.2 se presenta un resumen paragenético.

7.1.1. Etapa Hidrotermal Temprana

Esta fase se define por la formación de un núcleo de alteración potásica junto con feldespato potásico + biotita + cuarzo \pm anhidrita \pm magnetita \pm pirita I \pm calcopirita I bajo condiciones de alta temperatura y pH neutro a alcalino. Además, se observan asociaciones minerales similares con cantidades variables de; anhidrita \pm biotita \pm magnetita \pm calcopirita II \pm bornita en las vetillas de cuarzo tipo A; anhidrita \pm molibdenita I en las vetillas tipo B y cantidades menores de anhidrita en vetillas de cuarzo bandeado.

Tabla 7.1: Secuencia paragenética del depósito Cerro Casale interpretada desde patrones texturales y asociaciones mineralógicas de mena y ganga. Trazos continuos indican mayor abundancia y trazos discontinuos lo opuesto.

		ETAPA HIDROTHERMAL					PROCESOS SUPÉRGENOS	
		TEMPRANA			INTERMEDIA	TARDÍA		
		Qz I	Qz II	Qz III	Qz IV	Qz V		
MINERALES DE ALTERACIÓN	Cuarzo	—————					
	Sericita			.....	—————	.....
	Feldespato K	—————	.....				
	Biotita	—————	.....				
	Anhidrita	—————	.....				
	Calcita		.....	—————	—————	.....
	Clorita		.....	—————	—————		
	Epidota		.....				
	Turmalina					———		
	Adularia						.....
	Arcillas Amorfas			.....		.....	—————
	Pirofilita						.....
	Alunita						.....
MINERALES METÁLICOS	Magnetita	—————		.....			
	Hematita			(Espeularita) .....	—————		.....
	Pirita	Py I			Py II	Py III	Py IV	
	Calcopirita	Ccp I	Ccp II		Ccp III			
	Bornita		.....	—————			
	Molibdenita		Mo I	Mo II	.....		
	Esfalerita					.....	—————
	Galena					.....	—————
	Tetraedrita					.....	
	Tenantita					.....	
	Covelina						.....
	Calcosina						.....
	Limonita						—————	
	Goethita						—————	
	Rutilo					.....	

De manera contemporánea y hacia los márgenes del núcleo potásico, la migración de los fluidos hacia zonas más frías (200 – 250°C) y levemente alcalinas poco a poco van dando forma a un halo de alteración propilítica (Reed, 1997), adicionando a la fase hidrotermal temprana la *suite* clorita + epidota ± calcita. Finalmente, la migración de los fluidos, junto con el transporte/deposición de minerales, permitió condiciones más ácidas (pH 4 – 5) entre 150 – 200°C (Reed, 1997), para el desarrollo incipiente de minerales de alteración argílica intermedia junto con arcillas amorfas + cuarzo ± sericita ± clorita.

7.1.2. Etapa Hidrotermal Intermedia

La fase de mineralización intermedia se caracteriza por el desarrollo de la alteración sericita ± clorita ± especularita ± calcita bajo condiciones neutras a temperaturas cercanas a los 200°C (Reed, 1997) y, además, por la adición de nuevas generaciones de sulfuros tras el emplazamiento de vetillas de cuarzo tipo C con calcita ± clorita ± especularita ± calcopirita III ± molibdenita II ± pirita II.

7.1.3. Etapa Hidrotermal Tardía

La fase tardía se asocia con la formación de una alteración más “destruktiva”, compuesta por minerales feldespatos asociados a las alteraciones fílica y argílica avanzada. La alteración fílica es débil y se representa por el desarrollo de cuarzo ± sericita ± pirita III ± turmalina ± rutilo, en rangos de pH 5 a 6 y temperaturas próximas a los 200°C. Se emplazan además las vetillas tipo D con una asociación mineral similar a esta última (calcita ± pirita III ± anhidrita ± sericita). Durante esta etapa, los fluidos se acidifican alcanzando pH cercanos a 3,5 (Reed, 1997), promoviendo el desarrollo de una alteración argílica avanzada con minerales arcillosos ± pirofilita ± alunita que obliteran a las alteraciones anteriores de manera incipiente a moderada. También se asocia a esta etapa el desarrollo tardío de vetillas del tipo E con la precipitación conjunta de galena ± esfalerita ± pirita IV ± tenantita/tetraedrita ± adularia ± calcita en las zonas altas del depósito.

7.1.4. Procesos Supérgenos

El comienzo de la meteorización e interperismo marcó el inicio de los procesos supérgenos. Estos se pudieron identificar por el desarrollo de óxidos e hidróxidos de hierro como hematita

(oxidación de calcopirita), goethita, limonita y, por otra parte, la existencia de trazas de sulfuros que reflejan enriquecimiento secundario correspondientes a covelina y calcosina como reemplazo hacia los bordes de calcopirita.

7.2. Modelo Genético del Pórfido Au – Cu Cerro Casale

De acuerdo con la paragénesis mineral, la caracterización química de sulfuros, el grado de alteración, las relaciones de corte y la presencia de vetillas asociadas al emplazamiento de los pórfidos PMS, IMC1, IMC2, IMMZ Y LMOT, se interpreta una potencial evolución para el sistema tipo pórfido Au - Cu Cerro Casale. La unidad PMS, de edad U - Pb en circones 25.64 ± 0.64 Ma (Chen *et al.*, 2010; Cáceres, 2015; Mpodozis *et al.*, 2018), consiste en un pórfido de gran tamaño y condición estéril. Este pórfido asciende desde reservorios más profundos y se emplaza antes que los pórfidos interminerales IMC1, IMC2, IMMZ y LMOT, y que el sistema epitermal subsecuente (Sillitoe, 2010).

La actividad hidrotermal de Cerro Casale comienza su desarrollo por debajo de la paleosuperficie, a profundidades ≤ 4 km (Sillitoe, 2000) (Figura 7.1A). La mineralización es introducida por un fluido que comprende una pequeña fracción salmuera y un gran volumen de vapor de baja densidad (Fournier, 1999). Estudios en inclusiones fluidas reconocen la coexistencia de estas fases, lo cual sería indicativo del enriquecimiento en cloruros de Na, K y Fe en la fase líquida, que dotan de una alta salinidad al fluido precursor de mineralización (35 – 70 wt. % $\text{NaCl}_{\text{equiv.}}$), y de una fase vapor portadora de especies volátiles como SO_2 , H_2S , CO_2 , HCl y HF (Sillitoe, 2010).

El alto contenido de anhidrita registrado durante esta etapa sería indicativo de un sistema cuyos fluidos derivados del magma tuvieron una alta disponibilidad de S con un predominio de SO_4^{2-} por sobre H_2S (Einaudi *et al.*, 2003). El S se hidroliza en volátiles $\text{HSO}_4^-/\text{SO}_4^{2-}$ y $\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$ (Seward *et al.*, 2014), destacando este último al ser de gran importancia para el transporte de Au por complejos bisulfurados bajo condiciones de altas T aunque, se debe recalcar que las concentraciones de NaCl debieron ser tan altas para que ocurriese la pérdida de solubilidad de anhidrita durante esta etapa (Seward *et al.*, 2013), y por ende, su abundante precipitación, que es muy probable que tanto el Au como el Cu, habrían sido transportados primordialmente por medio de complejos clorurados por la elevada concentración de Cl^- (Henley, 1973; Seward, 1993; Gammons & William - Jones,

1997; Palacios *et al.*, 2001). Adicionalmente, estudios hacen referencia a ligandos de S en la fase vapor ($H_2S \pm SO_2$), como un método adicional para el transporte de Cu y Au en esta etapa (Sillitoe, 2010).

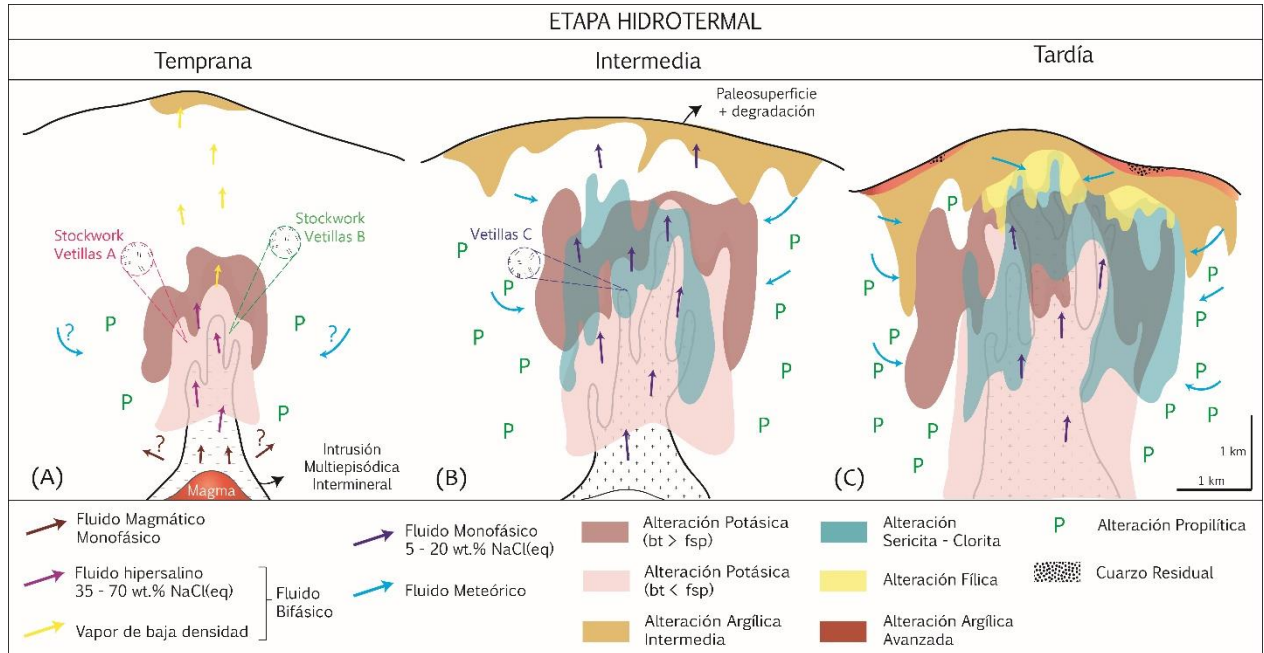


Figura 7.1: Modelo genético simplificado para una potencial evolución del sistema tipo pófido Au – Cu Cerro Casale. A) Intrusión multiepisódica intermineral que provoca la alteración potásica e importante aporte de Au y Cu al sistema. Intensa propagación de fracturas permite desarrollo de *stockworks* de vetillas A y B. Desarrollo de halo propilítico hacia el margen del núcleo potásico por migración lateral de fluidos magmáticos ó por el ingreso de fluidos meteóricos. Vapor de menor densidad contribuye al desarrollo incipiente de alteración argílica intermedia hacia superficie. B) Degradación de la paleosuperficie, cambio en las condiciones del medio hidrotermal y desarrollo de la alterción sericita – clorita además del emplazamiento de vetillas de cuarzo tipo C. Hay transporte y precipitación de metales, incrementando las concentraciones de Au y Cu en el sistema. C) Aporte importante de fluidos meteóricos que propician la formación de alteraciones bajo condiciones más ácidas; fílica y argílica avanzada, sobreimponiéndose a las alteraciones ya descritas. Continúa la degradación en superficie.

A medida que el sistema se enfría, entre 700 - 550 °C, continúa el desarrollo de la alteración potásica y de metales en y alrededor de los pórfidos interminerales (Ulrich *et al.*, 2001) (Figura 7.1A). La disminución paulatina de la solubilidad en el sistema hidrotermal permite la formación de sulfuros de Cu y Fe (magnetita + Ccp I + Py I), mientras que el descenso de temperatura hacia 400 – 350 °C, habría permitido la precipitación en equilibrio de bornita junto con calcopirita (Ccp

I, Figura 6.2A) (Einaudi *et al.*, 2003). Respecto a la dinámica de complejos y deposición/transporte de metales, el desarrollo de sulfuros durante esta etapa también alude a la pérdida de azufre reducido desde el fluido, lo que es consistente con la desestabilización de complejos de Au con HS^- y la conveniencia del transporte por complejos clorurados. En cuanto al ambiente hidrotermal imperante durante este periodo, la asociación mineral respondería a condiciones de baja a intermedia sulfuración (Figura 7.2), mientras que la abundante presencia de óxidos de Fe registrados (magnetita, hematita) contribuiría a una naturaleza de los fluidos mineralizadores iniciales con alta $f\text{O}_2$ (Palacios *et al.*, 2001).

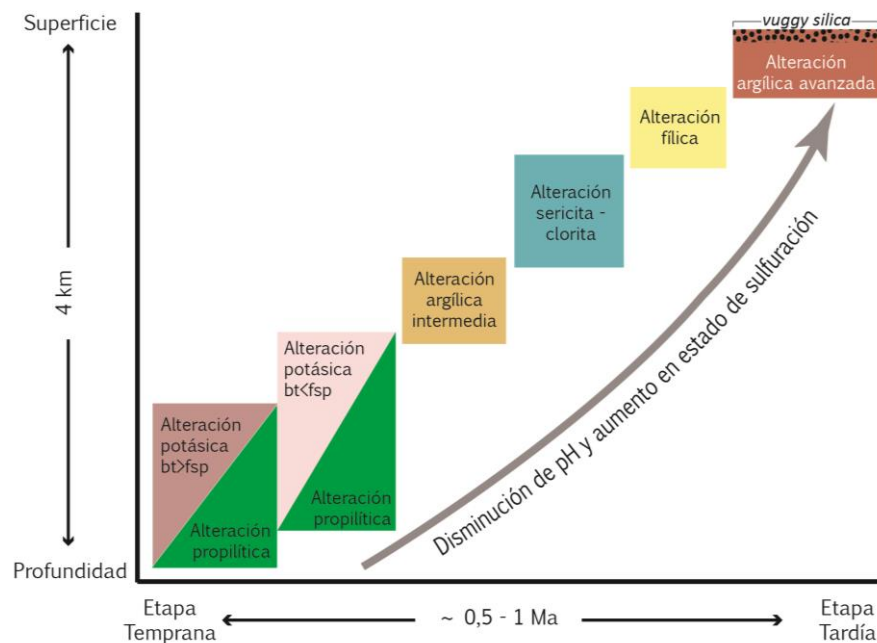


Figura 7.2: Relación profundidad – tiempo para la variación del estado de sulfuración y las condiciones de acidez de los fluidos responsables de mineralización en el sistema hidrotermal tipo pórfido Au – Cu Cerro Casale. Modificado de Sillitoe (2010).

Las condiciones cuasi – litoestáticas en las que se desarrolla el sistema hidrotermal, permiten el fracturamiento hidráulico de rocas dúctiles bajo un régimen de estrés elevado (Fournier, 1999), generando el *stockwork* temprano de vetillas de cuarzo tipo A con anhidrita + biotita \pm magnetita \pm calcopirita (Ccp II), vetillas de cuarzo tipo B junto con molibdenita (Mo I), y vetillas de cuarzo bandeado \pm anhidrita. Además, el desarrollo de estas fracturas y vetillas canalizaría el ascenso de

los fluidos mientras que, la variación de la presión confinante junto con la continua propagación y sellado de fracturas, permitiría eventos sucesivos de removilización y precipitación de nuevos metales a medida que migra el fluido hidrotermal (Sillitoe, 2010). Durante la descarga de fluidos hacia zonas de tipo frágil – dúctil, se desarrollarían las brechas magmático hidrotermales asociadas a los pórfidos interminerales (IMC1, IMC2, IMMZ Y LMOT).

El cambio progresivo de la zona potásica con predominio en biotita hacia una zona potásica con predominio en feldespato potásico, se debería al intercambio de iones Na y Ca por K, y la fuerte hidratación de las rocas circundante que consecuentemente desencadenaría un descenso brusco de la temperatura y el aumento en el pH de los fluidos (Ulrich *et al.*, 2001) (Figura 7.2).

El desarrollo de la alteración propilítica hacia la periferia del centro potásico, se consideraría contemporánea y equivalente lateral de menor temperatura (Wilkinson *et al.*, 2015). Esta ocurriría tras una serie de procesos que involucran hidratación, carbonatación, oxidación y reacciones de sulfuración sobre las unidades volcánicas y sedimentarias circundantes, que promueven el incremento de las concentraciones de volátiles H₂S y en menor medida de CO₂. Esto último favorece la precipitación de pirita y cantidades subordinadas de calcita, además de la adición de Ca²⁺ para formar aluminosilicatos de Ca hidratados, y finalmente la cloritización de ferromagnesianos para dar como resultado el conjunto clorita + epidota ± calcita, con cantidades menores a traza de magnetita – hematita (John *et al.*, 2010). Dilles *et al.* (2000), propone dos posibles orígenes para el dominio propilítico: (i) por efecto de los fluidos magmático hidrotermales que fluyen lateralmente y por ende se enfrían, o bien (ii) por efecto del ingreso de fluidos meteóricos desde las rocas de caja hacia el complejo intrusivo caliente (Figura 7.1A). Una fase vapor de menor densidad migra paulatinamente hacia zonas más altas del depósito (Figura 7.1A), permitiendo la transición hacia una alteración argílica intermedia incipiente con minerales de tipo arcilla como illita – smectita y cantidades menores de clorita (Cerro Casale Geology Report – Norte Abierto 2020). Mientras tanto, ocurre un descenso en las condiciones de presión y temperatura del sistema (Hedenquist *et al.*, 1998; Seedorff *et al.*, 2005). La alteración argílica intermedia conserva las texturas de las rocas primarias debido a la baja interacción fluido/roca en las zonas distales del depósito (Cooke *et al.*, 2014a), las condiciones más ácidas favorecen la producción de volátiles HCl y H₂S (Ulrich *et al.*, 2002), y no hay evidencia de nuevos sulfuros.

A medida que el magma parental se solidifica y la convección de magmas cesa, disminuye el gradiente térmico y el aporte de fluidos acuosos subyacentes (Dilles, 1987) (Figura 7.1B). Fluidos de una sola fase, de baja a moderada salinidad (~ 5 a 20 wt. % $\text{NaCl}_{\text{equiv}}$) y menor temperatura (350 - 250 °C) ascienden a través de fracturas y vetillas de cuarzo preexistentes (Sillitoe, 2000). Ocurre la removilización y conjunta adición (en menor medida) de sulfuros de Cu y Fe, el desarrollo de la alteración sericita – clorita es inminente, así como de vetillas de cuarzo del tipo C con Ccp III + Py II, y la precipitación en menor cantidad de bornita en equilibrio con Ccp III (Figura 6.2B). Estos eventos respaldarían el incremento en los valores de Cu y Au en el depósito al ocurrir la superposición de la alteración sericita – clorita por sobre el núcleo potásico (Figura 7.1B), probablemente por la acción de los fluidos oxidados circundantes (p.ej. Sungun, Iran; Hezarkhani & William - Jones, 1998).

La interacción de mayores cantidades de fluidos meteóricos y menores fluidos magmáticos (Figura 7.1C), permite la lixiviación ácida y subsecuente removilización de gran cantidad de elementos, junto con la formación de minerales tipo feldespatos “destructivos”. Hay muy poca o casi nula adición de Cu y Au, lo cual se refleja en la ausencia de sulfuros de Cu asociados a la alteración fílica (Ulrich & Heinrich, 2001). El bajo pH (Figura 7.2) permite condiciones estables para la formación de cuarzo + sericita + pirita (Meyer & Hemley, 1967) característicos de esta alteración, la cual afectaría a todos los pórfidos intrusivos interminerales y brechas magmático hidrotermales asociadas. Su desarrollo más amplio se daría en los sectores más altos de la zona potásica y cercano a la zona transicional entre esta y la alteración propilítica, extendiéndose a lo largo de fracturas y vetillas del tipo D (cuarzo + calcita + Py III) y E (barita + calcita + esfalerita + galena + Py IV) bajo estas zonas. La precipitación de galena y esfalerita en vetillas tipo E (Figura 6.2E), ocurriría por el descenso de presión y temperatura y/o por la dilución de fluidos magmáticos con aguas meteóricas (Hemley & Hunt, 1992).

El estado de sulfuración incrementa considerablemente (Figura 7.2) y la temperatura disminuye (Einaudi *et al.*, 2003). El régimen litoestático imperante hasta este momento evolucionaría a uno hidrostático, y la circulación hacia superficie de fluidos con una fase gaseosa más ácida produciría los halos de alteración de menor pH (Taylor, 1974), con la formación escasa de minerales como pirofilita y alunita característicos de la alteración argílica avanzada (Figura 7.1C). Por otro lado, la

interacción entre las rocas y el fluido ácido se reflejaría en la presencia de cuarzo residual o *vuggy silica*. Si bien la cantidad de pirita hasta este momento es la suficiente para ser lixiviada y aportar suficiente Fe y ácido sulfúrico hacia aguas meteóricas, es probable que las condiciones de pH no fuesen tan ácidas como para generar asociaciones que incluyesen grandes cantidades de alunita (Chávez, 2000), aunque también puede suceder que el registro de un volumen mayor haya sido borrado producto de la erosión.

La influencia de los procesos supérgenos se observa en la ocurrencia de escasos óxidos e hidróxidos de Fe (hematita, goethita, jarosita). Las trazas de rutilo con o sin sulfuros y la goethita, indicarían además la destrucción de los oxidados de Fe debido a altos niveles de sulfuración, y la subsecuente remoción del Fe disponible. Tales niveles de sulfuración también se verían reflejados en la asociación de covelina – calcosina, indicativa de un alta fS_2 (Einaudi *et al.*, 2003).

El nivel de enriquecimiento secundario es muy restringido, probablemente los fluidos ácidos percolantes generados por la lixiviación de pirita en niveles altos del sistema, fueron rápidamente neutralizados en la zona potásica bajo el nivel de aguas subterráneas, generando un ambiente neutro a alcalino que limitó el transporte de Cu en solución. También se considera que la disponibilidad de pirita en el sistema es relativamente escasa, afectando la producción de ácido.

En general, no se observan signos de redistribución de metales preciosos en Cerro Casale. Aunque cada sistema hidrotermal tiene una capacidad limitada para redistribuir el Cu, la solubilidad de metales preciosos es óptima cuando forma complejos bisulfurados bajo condiciones reductoras, en tanto existan grandes cantidades de H_2S disponibles (Cooke & Simmons, 2000), lo cual puede ser un motivo de las concentraciones no significativas de metales preciosos y metaloides hacia zonas altas del depósito.

7.3. Implicancias Químicas en la Evolución del Sistema Hidrotermal

Las distintas generaciones de sulfuros hipógenos asociados a los eventos de mineralización temprana e intermedia, presentaron una composición similar a la estándar, aunque esto no descarta que contengan elementos menores o trazas en cantidades por debajo de los límites de detección del método empleado (≥ 1 wt. %). Respecto a esto, estudios experimentales en pirita

de sistemas tipo pórfido establecen que su microestructura es de tal complejidad, que puede hospedar elementos traza del orden de ppm ya sea como solución sólida o nanoparticulados de Au, As, Sb, Pb, Ni, entre otros.

Los granos de pirita objetos de este estudio no mostraron patrones zonales ni tampoco señales espectrales de elementos anómalos como suele suceder en otros depósitos tipo pórfido Cu (Au) (p.ej. Dexing, China, Reich *et al.*, 2013; Bingham, Estados Unidos, Deditius *et al.*, 2014; Agua Rica, Argentina, Franchini *et al.*, 2015), lo que sugiere una distribución composicional homogénea de elementos en su estructura cristalina.

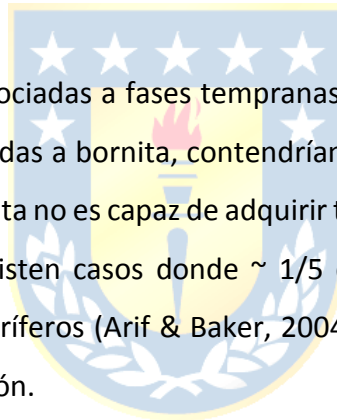
Si bien el análisis SEM-EDS efectuado no alcanza menores ordenes de magnitud como los métodos EPMA o LA-ICP-MS, existen múltiples casos en otros depósitos tipo pórfido cuprífero llevados a cabo en la última década por estos dos últimos métodos, que hacen referencia al contenido de As dentro de la estructura cristalina de la pirita y su rol en la incorporación de Au en sistemas hidrotermales y en prácticamente todos los contextos geológicos (depósitos hidrotermales a diagenéticos), aunque para términos de este estudio y sin una evidencia clara de As contenido en pirita, el grado de incorporación de Au en Cerro Casale aparentemente dependería de la temperatura y naturaleza química de los fluidos precursores de mineralización, la extensión de la interacción fluido/roca, la porosidad, los procesos de recristalización, entre otros (Deditius *et al.*, 2014).

Investigaciones recientes realizadas por Norte Abierto en Caspiche, un sistema epitermal que podría estar genéticamente vinculado con el pórfido Cerro Casale, exploraron el contenido de Au en piritas y su relación con el contenido de As (Informe interno realizado por Annick Chouinard, 2018), obteniendo como resultado, basado en análisis mediante microsonda electrónica en la Universidad de McGill, Canadá, que la fuente más común de Au era la pirita de tipo arsenical, con contenidos por bajo los límites de detección hasta ~ 8 wt. %, y con ausencia de otros elementos traza como el Ni o Co.

Si bien este estudio muestra la presencia de Au nativo en un único caso junto con calcopirita en la matriz de la unidad volcánica andesítica (Ccp I, Figura 6.4C), registros históricos de Cerro Casale reafirman la presencia de Au libre y/o asociado a la estructura interna de óxidos de Fe y sulfuros

hipógenos (pirita, calcopirita, bornita), así como también en estado sólido rellenando vetillas de cuarzo tempranas (Muntean & Einaudi, 2001). Deditius *et al.* (2014), menciona que la capacidad de la estructura cristalina de la pirita temprana al no puede seguir hospedando Au en solución, pasa a conformar parte de otras fases minerales como calcopirita, bornita y oxidados de Fe. Según el análisis SEM – EDS, el Au incluido en sulfuros contiene cantidades significativas de Ag. Estas concentraciones variarían de acuerdo a la fase mineral asociada (p.ej. calcopirita o bornita; Arif & Baker, 2004). Es común que las solubilidades de Au y Ag a altas temperaturas y condiciones de alta oxidación tiendan a formar complejos clorurados, precipitando como fase conjunta en cristales de Au ricos en Ag (Palacios *et al.*, 2001). Gammons & William – Jones (1995), indican que los sistemas hidrotermales en que el Au y Ag son transportados mediante complejos clorurados, los cambios de temperatura son el factor principal de precipitación, aumentando a medida que el sistema se enfría.

Existe evidencia en calcopiritas asociadas a fases tempranas de mineralización en sistemas tipo pórfido que, al encontrarse asociadas a bornita, contendrían aún mayor cantidad de Au en este tipo de sistemas, ya que la calcopirita no es capaz de adquirir tanto Au en solución como la bornita (Arif & Baker, 2004). También existen casos donde $\sim 1/5$ del Au nativo se da como Au libre asociado a cuarzo en pórfidos cupríferos (Arif & Baker, 2004), no obstante, no se tiene registro suficiente para avalar esta definición.



8. CONCLUSION

Las observaciones microscópicas de detalle en sulfuros, no sólo permitieron reconocer diferentes especies para cada uno de ellos, sino que también la posibilidad de discriminar sus distintas generaciones a través de las características texturales y asociaciones mineralógicas. De manera subsecuente, la integración de esta información junto con el análisis químico específico para cada una de las generaciones, permitió comprobar que esta investigación otorga una mayor comprensión acerca de las cualidades principales de los fluidos hidrotermales involucrados en la mineralización durante la evolución de un sistema tipo pórfido Cu. Por otro lado, este trabajo supone un aporte al conocimiento metalogénico de la Franja de Maricunga y del Distrito Minero Casale.

El pórfido Au - Cu Cerro Casale presenta una tendencia evolutiva de los fluidos hidrotermales hacia condiciones de menor temperatura y pH, junto con el incremento del estado de sulfuración y oxidación, aun cuando el contenido de S total en el sistema es alto.

La alteración potásica habría iniciado a temperaturas por sobre los 550 °C, aunque las condiciones se habrían vuelto estables a ~ 350°C para la precipitación de calcopirita y bornita temprana. La migración de fluidos, su interacción con las rocas durante la alteración, y la transición de un régimen litoestático a hidrostático, generó la propagación conjunta de abundantes fracturas y vetillas. La disminución de temperatura (< 400 °C) e incremento de H₂S en los fluidos, contribuyó a la precipitación de sulfuros de Cu - Fe de sulfuración intermedia y ricos en Au. El predominio de H₂S, junto con la disminución de pH debido a la formación de H₂SO₄ producto de la interacción de agua y el SO₂ disponible, habría reducido las concentraciones de hidróxido de molibdeno en el fluido, precipitando molibdenita en vetillas tipo B y C.

La formación progresiva de asociaciones sericita – clorita – hematita (especularita) y cuarzo - mica blanca (muscovita) – pirita - turmalina, es indicativo de fluidos cada vez más fríos, ricos en H₂S y de pH más ácidos, que van lixiviando el sistema a medida que recirculan hacia zonas más tempranas. Los *stockwork* de vetillas tempranas canalizan su flujo. Hay un menor estado de sulfuración y muy poca mineralización de Cu. La ausencia de Au en esta etapa tal vez se asocia a

el grado intermedio de reacción de la roca de caja y las condiciones de pH definidas por las asociaciones minerales.

Los fluidos hidrotermales sufren un cambio abrupto de condiciones debido a su interacción con el medio, ocurriendo una considerable disminución de pH, aumento de la fO_2 y fS_2 en zonas de vetillas tardías, el enfriamiento y dilución de fluidos portadores de Zn y Pb, y por ende, la precipitación de galena y esfalerita con calcita, adularia y yeso. El estado de oxidación alto del fluido, produjo la removilización de cationes alcalinos desde los filosilicatos presentes en las zonas sericita – clorita y fílica. Los fluidos se enriquecieron en Au, Sb y As, y precipito tenantita y tetraedrita.

La evolución del sistema hidrotermal se planteó tras la definición de una secuencia paragenética a escala mesoscópica, respecto a tres eventos principales de mineralización; temprano, intermedio y tardío. Estudios recientes discrepan del uso de estos términos debido a la condición multiepisódica de los distintos pulsos de intrusión. Por tanto, se hablaría de modelos en términos de temperaturas propicias para la formación de los distintos ensamblajes minerales en equilibrio (Seedorf & Einaudi, 2004).

Esta investigación es preliminar, robustecer el modelo genético con nuevos métodos analíticos podría vectorizar nuevas campañas de exploración. La presencia de trazas de As, Ni, Co, Pb, entre otros, podría aportar información valiosa sobre la evolución química e isotópica de los fluidos precursores de mineralización. La cantidad máxima de Au que puede incorporar un sistema hidrotermal en su etapa temprana, podría verse influenciada por la concentración de As que puede adquirir la pirita. Profundizar y comprender el estado de sulfuración y oxidación del sistema hidrotermal, puede nutrir aún más las condiciones de los fluidos precursores de mineralización, e incluso definir campos de estabilidad para el desarrollo de las distintas asociaciones de sulfuros debido a los efectos sobre la especiación del S.

9. SUGERENCIAS

Actualmente el estudio geológico de campo es la herramienta esencial durante la identificación de potenciales yacimientos que, tras ser corroborados, incorporan técnicas de descripción de sondajes, mapeo geológico e integración rutinaria de técnicas geoquímicas y geofísicas. No obstante, abrir paso a un estudio mineralógico multidisciplinario de mayor detalle, permitiría una reconstrucción detallada de la génesis de sistemas tipo pórfido Cu, y que al mismo tiempo optimizaría la planificación minera; mejoraría modelos predictivos, e incluso serviría de vector para nuevas campañas de exploración.

Estudios isotópicos de S de pirita proveniente de sondajes de roca han sido empleados como indicadores favorables sobre la proximidad a una fuente de fluidos oxidantes con potencial para dar origen a un depósito porfídico bien mineralizado (Holliday & Cooke, 2007). Por lo tanto, análisis isotópicos pueden emplearse para aumentar la información obtenida desde la perforación de sondajes y nutrir bases de datos.

Estudios isotópicos en D y O son empleados para determinar los tipos de fluidos asociados a las etapas tempranas de mineralización, otorgando valor analítico a la componente meteórica/magmática.

Respecto al impacto geometalúrgico que tienen este tipo de investigaciones, si bien es común el desarrollo de plantas de lixiviación para la obtención de Cu proveniente de sulfuros, este tipo de procesos representaría una baja o nula recuperación del Au asociado a pirita-calcopirita como inclusión o invisible, o bien Au libre como fase mineral asociada a sulfuros, en celdas de flotación, por lo que la incorporación de circuitos gravitatorios para disminuir la pérdida de Au libre en pilas de lixiviación, mejoraría significativamente su recuperación (Dunne et al., 1999).

10. REFERENCIAS

- ARÉVALO, C.; RIVERA, O.; IRIARTE, S. & MPODOZIS, C. 1994.** Cuencas extensionales y campos de calderas del cretácico superior-terciario inferior en la precordillera de Copiapó (27° - 28° S), Chile. Congreso Geológico Chileno N° 7. Actas **2**: 1288-1292. Concepción.
- ARIF, J. & BAKER, T. 2004.** Gold paragenesis and chemistry at Batu Hijau, Indonesia: implications for gold - rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposita*. Vol. **39**. 523-535. 10.1007/s00126-004-0433-0.
- BARAZANGI, M. & ISACKS, B. 1976.** Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology*. Vol. **4**: 686-692.
- BELL, C. M. & SUÁREZ, M. 1989.** Vertebrate fossils and trace fossils in Upper Jurassic - Lower cretaceous red beds in the Atacama region, Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **2**, (4): 351-357.
- CÁCERES, M. 2015.** Nuevos antecedentes geocronológicos del Distrito Casale, sur de la Franja Maricunga, Región de Atacama, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 14. Actas **2**: 4 pp. La Serena.
- CHARRIER, R.; FARÍAS, M. & MAKSAEV, V. 2009.** Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **65**, (1): 5-35.
- CHARRIER, R.; PINTO, L. & RODRÍGUEZ M. P. 2007.** Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The geology of Chile*: 440 pp. Londres.
- CHAVEZ, W. 2000.** Supergene Oxidation of Copper Deposits: Zoning and Distribution of Copper Oxide Minerals.
- CHEN, H.; HOLLINGS, P.; COOKE, D. & GEMMELL, B. 2010.** Lithocap and porphyritic alteration and mineralization in the Cerro Casale District, Chile: Implications for exploration. AMIRA/CODES P765A Final Sponsors Meeting, 32 pp.
- COOKE, D. R. & SIMMONS, S. 2000.** Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*. Vol. **13**: 221-244.
- COOKE, D. R.; BAKER, M.; HOLLINGS, P.; SWEET, G.; CHANG, Z.; DANYUSHEVSKY, L.; GILBERT, S.; ZHOU, T.; WHITE, N., GEMMELL, J. B. & INGLIS, S. 2014A.** New advances in detecting the distalgeochemical footprints of porphyry systems - Epidote mineralchemistry as a tool for vectoring and fertility assessments. Society of Economic Geologists, Special Publication. Vol. **18**: 127-152.
- CORNEJO, P. & MPODOZIS, C. 1994.** Estrato volcanes y domos coalescentes del oligoceno superior - mioceno inferior en la franja de Maricunga: Los sistemas Cerros Bravos-Esperanza y La Coipa. Congreso Geológico Chileno N° 7. Vol. **1**: 13-17. Concepción

- CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; KAY, S. M. & TOMLINSON, A. 1994.** Volcanismo bimodal potásico en régimen extensional del Cretácico Superior - Eoceno en la región de El Salvador (26° - 27° S), Chile. Congreso Geológico Chileno, N° 7. Vol. **2**: 1306-1310. Concepción
- DAVIDSON, J. & MPODOZIS, C. 1991.** Regional geologic setting of epithermal gold deposits, Chile. *Economic Geology*. Vol. **86**: 1174-1186.
- DEDITIUS, A.; REICH, M.; KESLER, S.; UTSUNOMIYA, S.; CHRYSOULIS, S.; WALSHE, J. & EWING, R. 2014.** The coupled geochemistry of Au and As in pyrite from hydrothermal ore deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **140**: 644–670.
- DILLES, J. H. 1987.** Petrology of the Yerington Batholith, Nevada; evidence for evolution of porphyry copper ore fluids. *Economic Geology*. Vol. **82** (7): 1750-1789.
- DILLES, J. H. & EINAUDI, M. T. 1992.** Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada; a 6 km vertical reconstruction. *Economic Geology*. Vol. **87** (8): 1963-2001.
- DILLES, J. H.; EINAUDI, M. T.; PROFFETT, J. M. & BARTON, M. D. (2000).** Overview of the Yerington porphyry copper district: Magmatic to nonmagmatic sources of hydrothermal fluids: Their flow paths and alteration effects on rocks and Cu – Mo – Fe – Au ores. Society of Economic Geologists, Guidebook Series. Vol. **32** (1): 55-66.
- EINAUDI, M. T., HEDENQUIST, J. W. & INAN, E. E. 2003.** Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. Society of Economic Geologists, Special Publication. Vol. **10**: 285-314.
- FOURNIER, R. O. 1999.** Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic - epithermal environment. *Economic Geology*. Vol. **94** (8): 1193-1211.
- FRANCHINI, M., MCFARLANE, C., MAYDAGÁN, L., REICH, M., LENTZ, D. R., MEINERT, L., & BOUHIER, V., 2015.** Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: Textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition. *Ore Geology Reviews*. Vol. **66**: 366-387.
- FUENZALIDA, H. 1950.** Geografía Económica de Chile: CORFO. Editorial Universitaria. Vol. **1**: 188-254, Santiago.
- GAMMONS, C. H., & WILLIAMS-JONES, A. E., 1995.** The solubility of Au-Ag + AgCl in HCl/ NaCl solutions at 300°C: New data on the stability of Au (I) chloride complexes in hydrothermal fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. **59** (17): 3453-3468.
- GAMMONS, C. H., & WILLIAMS-JONES, A. E., 1997.** Chemical mobility of gold in the porphyry - epithermal environment: *Economic Geology*. Vol. **92**: 45–59.

- GAMONAL, S. 2007.** Exploración Minera del Distrito Pantanillo, Franja de Maricunga, Región de Atacama, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 119 pp.
- GUSTAFSON, L. B. & HUNT, J. P. 1975.** The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*. Vol. **70** (5): 857-912.
- GUSTAFSON, L. B.; ORQUERA, W.; MCWILLIAMS, M.; CASTRO, M.; OLIVARES, O.; ROJAS, G.; MALUENDA, J. & MENDEZ, M. 2001.** Multiple centers of mineralization in the Indio Muerto district, El Salvador, Chile. *Economic Geology*. Vol. **96** (2): 325-350.
- GUSTAFSON, L. B. & QUIROGA, G. J. 1995.** Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile. *Economic Geology*. Vol. **90** (1): 2-16.
- HEDENQUIST, J.W., & RICHARDS, J.P. 1998.** The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits: *Reviews in Economic Geology*. Vol. **10**: 235-256.
- HEMLEY, J. J. & HUNT, J.P., 1992.** Hydrothermal ore-forming processes in the light of studies in rock-buffered systems: II. Some general geologic applications: *Economic Geology*. Vol. **87**: 23-43.
- HENLEY, R. W. 1973.** Solubility of gold in hydrothermal chloride solutions. *Chemical Geology*. Vol. **11** (2): 73-87.
- HEZARKHANI, A. & WILLIAMS-JONES, A. E. 1998.** Controls of Alteration and Mineralization in the Sungun Porphyry Copper Deposit, Iran: Evidence from Fluid Inclusions and Stable Isotopes. *Economic Geology*. Vol. **93**: 651-670.
- HOLLIDAY, J. R. & COOKE, D. R. 2007.** Advances in Geological Models and Exploration Methods for Copper ± Gold Porphyry Deposits. *Ore Deposits and Exploration Technology*. Vol. **53**: 791-809.
- JOHN, D.; AYUSO, R.; BARTON, M.; BLAKELY, R.; BODNAR, R.; DILLES, J.; GRAY, F.; GRAYBEAL, F.; MARS, J.; MCPHEE, D.; SEAL, R.; TAYLOR, R. & VIKRE, P. 2010.** Porphyry Copper Deposit Model.
- KAY, S. M.; MPODOZIS, C.; TITTLER, A. & CORNEJO, P. 1994.** Tertiary magmatic evolution of the Maricunga mineral belt in Chile. *International Geology Review*. Vol. **36** (12): 1079-1112.
- KAY, S. M.; MPODOZIS, C.; TITTLER, A. & CORNEJO, P. 1996.** Magmatic and tectonic controls on Late Tertiary mineralization in the Maricunga Belt, 26° to 28° S, Chile. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Vol. **3**: 117-122. Buenos Aires.
- MAKSAEV, V.; ALMONACID, T. A.; MUNIZAGA, F.; VALENCIA, V.; MCWILLIAMS, M. & BARRA, F. 2004.** Geochronological and thermochronological constraints on porphyry copper

mineralization in the Domeyko alteration zone, northern Chile. *Andean Geology*. Vol. **37** (1): 144-176.

- MERCADO, M. 1982.** Hoja Laguna del negro Francisco, región de Atacama 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geol. Chile, N° **56**: 73 pp.
- MEYER, C., & HEMLEY, J. J. 1967.** Wall rock alteration, in Barnes, H.L., (ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*: New York, Holt, Rinehart and Winston, p. 166–235
- MPODOZIS, C.; ALLMENDINGER, R. & JORDAN, T. 1991.** La zona del Nevado de Jotabeche y la Laguna del Negro Francisco: Evolución Tectónica y volcánica de la extremidad meridional del Altiplano chileno. Congreso Geológico N° 6: 91-95. Viña del Mar.
- MPODOZIS, C.; CORNEJO, P.; GARDEWEG, M. & KAY, S. M. 1994.** Geocronología y evolución volcánica de la región del volcán Copiapó, Franja de Maricunga. Congreso Geológico Chileno N° 7. Vol. **2**: 1125-1129. Concepción.
- MPODOZIS, C.; CORNEJO, P.; Kay, S. M. & Tittler, A. 1995.** La Franja de Maricunga: Síntesis de la evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales. *Revista Geológica de Chile* N° 21: 273-313.
- MPODOZIS, C.; QUIROGA, R.; CLAVERO, J.; DROGUETT, B. & ARCOS, R. 2018.** Geología del área Cerro Cadillal – Cerro Jotabeche. Región de Atacama. Carta Geológica de Chile, serie Geología Básica N° 200, escala 1:100.000.
- MUNTEAN, J. L. & EINAUDI M. T. 2001.** Porphyry - Epithermal Transition: Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*. Vol. **96** (4): 743-772.
- PALACIOS, C., HÉRAIL, G., TOWNLEY, B., MAKSAEV, V., SEPÚLVEDA, F., DE PARSEVAL, P., RIVAS, P.; LAHSEN A. & PARADA, M. 2001.** The composition of gold in the Cerro Casale gold – rich porphyry deposit, Maricunga belt, northern Chile. *The Canadian Mineralogist*. Vol. 39 (3): 907-915.
- PERELLÓ, J., SILLITOE, R. H., MPODOZIS, C., BROCKWAY, H. & POSSO, H. 2012.** Geologic setting and evolution of the porphyry copper - molybdenum and copper - gold deposits at Los Pelambres, central Chile. Society of Economic Geologists, 79-104.
- REED, M.H. 1997.** Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, III Ed., Hubert L. Barnes, John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-366.
- REICH, M., DEDITIUS, A., CHRYSOULIS, S., LI, J. W., MA, C. Q., PARADA, M. A., BARRA, F. & MITTERMAYR, F. 2013.** Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **104**: 42-62.
- SEEDORFF, E.; DILLES, J.; PROFFETT, J. M.; EINAUDI, M. T.; ZURCHER, L.; STAVAST, W. J. A.; JOHNSON, D. A. & BARTON, M., 2005.** Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features. 100th Anniversary Volume. 251-298.

- SEEDORFF E., EINAUDI M.T. 2004.** Henderson porphyry molybdenum system, Colorado: II. Decoupling of introduction and deposition of metals during geochemical evolution of hydrothermal fluids. *Economic Geology*. Vol. **99** (1): 39-72.
- SEWARD, T. M. 1993.** The hydrothermal geochemistry of gold. *Gold metallogeny and exploration*. 37-62. Springer, Dordrecht.
- SEWARD, T. M., WILLIAMS-JONES, A. E. & MIGDISOV, A. A. 2014.** The chemistry of metal transport and deposition by ore-forming hydrothermal fluids. In *Treatise on geochemistry*, Elsevier Oxford. 29 – 57.
- SILLITOE, R. H. 2000.** Gold – Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery. *Economic Geology Reviews*, Vol. **13**: 315-345.
- SILLITOE, R. H. 2010.** Porphyry copper systems. *Economic Geology*, Vol. **105**: 3–41.
- SILLITOE, R. H.; MCKEE E. & VILA, T. 1991.** Reconnaissance K-Ar geochronology of the Maricunga gold - silver belt, northern Chile. *Economic Geology* N° 6. Vol. **86**: 1261-1270.
- SILLITOE, R. H.; TOLMAN, J. & KERKVOORT, G. v. 2013.** Geology of the Caspiche porphyry gold - copper deposit, Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology*. Vol. **108** (4): 585-604.
- SKEWES, M. A. & ATKINSON, W. jr. 2010.** Petrology of the early formed hydrothermal veins within the central potassic alteration zone of Los Pelambres porphyry copper deposit, Chile. *Andean Geology*. 25-26.
- SUÁREZ, M. & BELL, C. M. 1992.** Triassic rift-related sedimentary basins in northern Chile (24° – 29° S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **6** (3): 109-121.
- SUÁREZ, M. & BELL, C. M. 1994.** Braided rivers, lakes and sabkhas of the upper Triassic Cifuncho formation, Atacama region, Chile. *Journal of South American earth sciences*. Vol. **7** (1): 25-33.
- TAYLOR, H.P., Jr., 1974.** The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic Geology*. Vol. **69**: 843–883.
- ULRICH, T.; GUENTHER, D. & HEINRICH, C. 2001.** Ulrich, T., Günther, D., and Heinrich, C. A., (2001a), The evolution of a porphyry Cu - Au deposit, based on LA - ICPMS of fluid inclusions: Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*. Vol. **96**: 1719-1742.
- ULRICH, T. & HEINRICH, C. A., 2001.** Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu - Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina: *Economic Geology*. Vol. **96**: 1719–1742.
- ULRICH, T.; GÜNTHER, D. & HEINRICH, C. A. 2002.** The evolution of a porphyry Cu - Au deposit, based on LA – ICP – MS analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*. Vol. **97** (8): 1889-1920.
- VILA, T. & SILLITOE, R. H. 1991.** Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile: *Economic Geology*. Vol. **86**: 1238–1260.

WILKINSON, J. J.; CHANG, Z.; COOKE, D. R.; BAKER, M. J.; WILKINSON, C. C.; INGLIS, S.; CHEN, H. & GEMMELL, J. B. 2015. The chlorite proximator: A new tool for detecting porphyry ore deposits. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. **152**: 10-26.

WILLIAMS-JONES, ANTHONY & HEINRICH, C. A. 2005. 100th Anniversary Special Paper: Vapor transport of metals and the formation of magmatic - hydrothermal ore deposits. *Economic Geology*. Vol. **100**: 1287-1312.





ANEXO I


CARACTERIZACIÓN PETROCALCOGRÁFICA

RESUMEN DE RESULTADOS PETRO CALCOCRÁFICOS

Compilación de información obtenida desde el estudio petrográfico por microscopía óptica para cada muestra pulido transparente según principales componentes y orden de abundancia.

Muestra	Prof (m)	Clasificación	Minerales de alteración	Minerales metálicos	Tipo de vetilla
SM-01	240	Brecha magmático hidrotermal	Fsp, bt, qz, ser, anh, arc, chl	Hm, mt, rt, gt, lm, ccp	A1
SM-02	265	Brecha ígnea	Qz, bt, fsp, ser, arc	Gt, hm, rt, mt	A1
SM-03	35	Pórfido diorítico	Qz, ser, arc, bt, chl, prl	Py, rt, ccp, mt, cv, cs	-
SM-04	33	Pórfido diorítico	Qz, fsp, ser, bt, chl, arc	Hm, mt, lm, gt, ccp, rt	BQz, A1
SM-05	120	Diorita porfídica	Qz, ser, chl, cc, fsp, ep, prl, arc, alu, alb	Py, ccp, mt, hm, rt	C3
SM-06	1380	Toba cristalina	Qz, fsp, anh, ser, arc, cc, chl	Ccp, hm, mt, mo, py	A2, BQz, C3
SM-07	639	Probable roca volcanoclástica	Qz, ser, fsp, anh, arc, bt, prl, cc	Py, esf, gn, ccp, hm	C3, E
SM-08	737	Andesita	Qz, bt, fsp, anh, ser, cc, qz, arc	Py, ccp, hm, rt, gt	D
SM-09	286	Pórfido diorítico	Qz, ser, bt, arc, chl, prl, alu, ep, tur	Py, ccp, mt, hm, rt, cv, cs	C1, C2
SM-10	390	Pórfido diorítico	Qz, fsp, ser, chl, bt, ep, arc, cc	Py, ccp, hm, mt	C3
SM-11	460	Pórfido diorítico	Qz, ser, arc, fsp, anh, bt	Py, ccp, mt, rt	D
SM-12	564	Brecha magmático hidrotermal	Qz, ser, fsp, arc, anh, chl	Py, Ccpy.mp. hm. Mt. rt	A1, A2, B
SM-13	592	Brecha magmático hidrotermal	Qz, fsp, bt, ser, anh, chl, arc, cc	Hm, mt, py, ccp	A1, C3
SM-14	982	Andesita	Bt, fsp, anh, qz	Ccp, mt, bn	A1, A2
SM-15	1098	Monzodiorita porfídica	Qz, ser, arc, anh, chl, fsp, bt, cc	Ccp, mt, hm, bn, py	A2, C3
SM-16	600	Pórfido diorítico	Qz, fsp, ser, arc, anh, chl	Hm, ccp, bn, mt	M, A1, A2, C3
SM-17	428	Pórfido diorítico	Qz, ser, arc, chl, fsp, anh, bt	Hm, mt, ccp, bn	A1, A2, C3
SM-18	577	Brecha magmático hidrotermal	Qz, fsp, bt, anh, ser, arc, chl, cc	Ccp, mt, hm, bn	A2
SM-19	432	Brecha magmático hidrotermal	Qz, fsp, bt, arc, ser, anh, chl	Ccp, hm, mt, bn	A1, A2, C3
SM-20	1355	Probable roca volcanoclástica	Qz, arc, fsp, anh, bt, ser, chl, cc	Mt, ccp, hm, bn	A1, A2, C3

CARACTERIZACIÓN PETRO CALCOGRÁFICA DE DETALLE

MUESTRA SM-01 LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-004	240	Brecha magmático hidrotermal
		
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris claro con tonos pardo y leve magnetismo. Se observa una textura conglomerádica compuesta de clastos subangulares de composición polimíctica, soportados por una matriz afanítica. Contiene cemento de feldespato potásico y sílice. Entre los clastos se distinguen fragmentos de vetillas tempranas.</p> <p>Al microscopio se reconoce una textura porfídica compuesta de fragmentos de cristales de plagioclasa con bordes irregulares, y fragmentos de cristales indeterminados producto de la obliteración causada por alteración. Están inmersos en una matriz con finos cristales de cuarzo primario, junto con una cantidad importante de minerales de reemplazo; cuarzo; biotita; sericita; polvo de roca y minerales metálicos. Por otro lado, existen fragmentos de vetillas de cuarzo tipo A compuestas por un agregado de cuarzo secundario y minerales opacos (hematita). La alteración principal es de tipo potásica, y de manera subordinada, se observa reemplazo por sericita y clorita. Una incipiente argilización completa la mineralogía de reemplazo.</p> <p>La mineralización metálica se compone por cristales anhedrales de tamaño medio <0,1 mm de hematita, magnetita, rutilo y calcopirita, presentes como diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la matriz y dentro de los fragmentos de cristales de plagioclasa. Los hidróxidos de hierro se presentan como parches anhedrales distribuidos en la matriz de la muestra.</p> <p>Debido a la diversidad de los constituyentes, las características mineralógicas y texturales de la matriz, los fragmentos de vetillas tempranas y el polvo de roca, es posible clasificar esta roca como una brecha magmático hidrotermal.</p>		

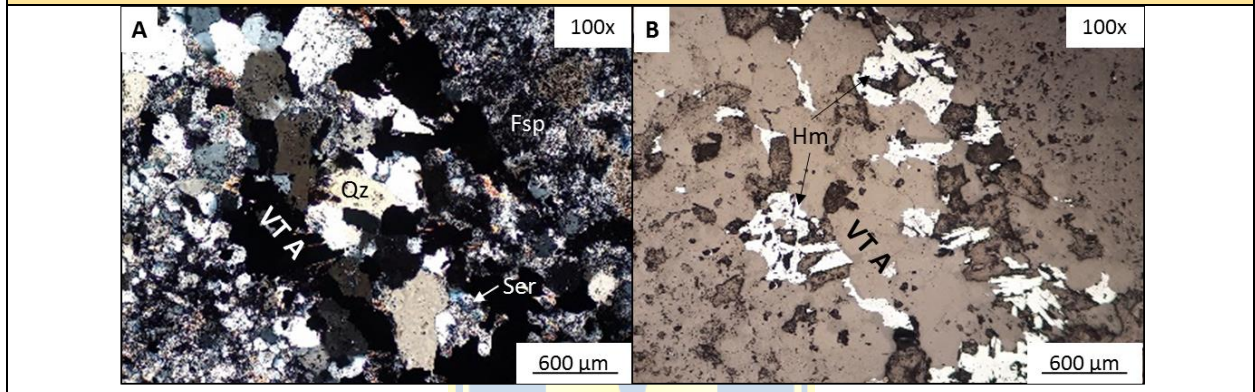
Observación Microscópica		
Fragmentos	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales de hábito tabular con bordes mal conservados que alcanzan tamaños de hasta 3 mm. Se encuentran moderada a levemente alterados a sericita, clorita y arcillas amorfas.	20
Indeterminado A	Cristales subhedrales de hasta 3 mm, sin bordes preservados. Están completamente alterados a sericita y clorita. No es posible identificar su composición original.	2
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales con tamaños entre 0,4 y 0,6 mm diseminados en la matriz.	1
Polvo de roca	Distribuido en cúmulos de manera heterogénea en la matriz. Se encuentra localmente alterando a sericita.	5
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	16
Feldespató potásico	Ver mineralogía de alteración.	18
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	7
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	4
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	3
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	18
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	4
Opacos	Cristales anhedrales a localmente subhedrales de tamaño medio <0,1 mm. Se reconocen hematita, magnetita, rutilo y calcopirita, además de parches anhedrales de hidróxidos de hierro. Estos se presentan como diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la matriz, asociados a cúmulos de biotita secundaria e impregnaciones en fragmentos de plagioclasa.	2
Fragmentos: 22 %		Matriz: 78 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino como principal componente de la matriz y de fragmentos de vetillas tipo A. En ocasiones ocurre como reemplazo parcial de algunos fragmentos primarios.	16
Feldespató potásico	Cristales anhedrales distribuidos en la matriz como parches y agregados cumulares en conjunto con cuarzo secundario. Se	18

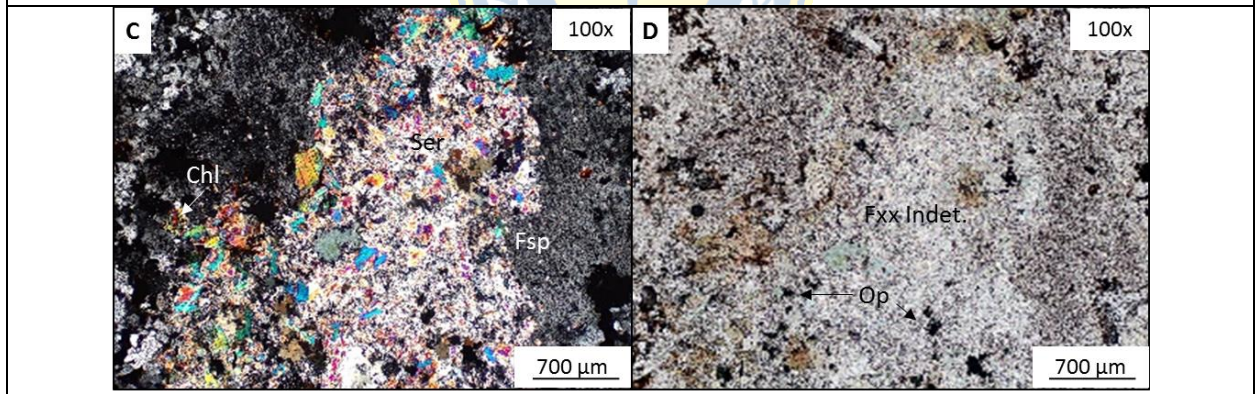
	observa como componente de fragmentos de vetillas de cuarzo..	
Sericita	Agregado fino fibroso presente como alteración moderada a intensa de fragmentos de cristales de plagioclasa e indeterminados. También se presenta como componente de fragmentos de vetillas de cuarzo. Alteración parcial del polvo de roca en la matriz.	7
Arcillas	Material criptocristalino indeterminado. Presente como alteración en fragmentos de plagioclasa. También se encuentra en la matriz asociado a sericita, cuarzo secundario y minerales metálicos.	4
Clorita	Agregado microcristalino acicular y fibroso que ocurre como diseminado y en parches formando parte de fragmentos de vetillas de cuarzo junto con sericita. También como cristales subhedrales implantados en fragmentos de plagioclasa y en fragmentos cristalinos indeterminados.	3
Biotita secundaria	Cristales anhedrales a localmente subhedrales (tabular) de tamaño promedio <0,1 mm. Están presentes como cúmulos dentro de la sección asociados a minerales metálicos (magnetita martitizada y hematita).	18
Anhidrita	Cristales subhedrales de tamaño medio <0,1 mm localmente alterando a fragmentos de plagioclasa.	4
Minerales opacos	Características	%
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz y como componente de fragmentos de vetillas de cuarzo. Reemplaza a magnetita desde los bordes y en planos de debilidad (martitización).	1
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la matriz y como impregnaciones en fragmentos de plagioclasa. En su mayoría se encuentra parcial a totalmente reemplazada por hematita.	<1
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados dentro de algunos fragmentos cristalinos indeterminados y en la matriz.	<1
Hidróxidos de hierro	Goethita y limonita como agregado anedral y pulvurento reconocido como parches diseminados en la matriz.	<1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados en la sección y como impregnación en relictos de fenocristales de plagioclasas.	Tr

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz +- anh	Moderada a pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± arcillas	Leve a Moderada	
Argílica Intermedia	Arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	Fragmentos de hasta 1mm de espesor, rectilíneos, regulares y discontinuos	Qz, hm	-

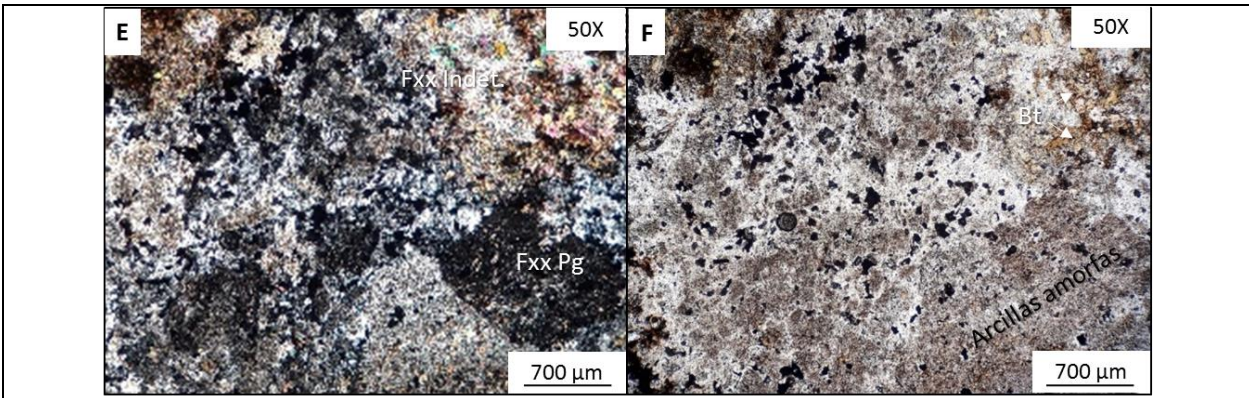
MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-01




A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Fragmento de vetilla de cuarzo tipo A compuesta por cúmulos de sericita, parches de feldespato potásico y minerales opacos (hematita).



C (Luz transmitida, NC), D (Luz transmitida, LPP): Fragmentos cristalinos indeterminados afectados por sericita, clorita y moderado metasomatismo potásico hacia los bordes. Posee escasas impregnaciones de minerales opacos (calcopirita).



E (Luz transmitida, NC), F (Luz transmitida, LPP): Representatividad de los minerales de alteración presentes en la muestra. Sobre fenocristales de plagioclasa se tiene una moderada argilización y leve a moderada sericitización, mientras que los fragmentos de cristales indeterminados presentan moderada a intensa sericitización en conjunto a una biotitización leve. La matriz que contiene estos fragmentos posee intenso reemplazo por feldespato potásico junto con material criptocristalino arcilloso indeterminado.

MUESTRA SM-02		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-004	265	Brecha ígnea
		
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris claro, sin magnetismo y de textura fragmental. Compuesta de fragmentos líticos subangulares de origen volcánico y algunos fuertemente silicificados, incluidos en una matriz aparentemente ígnea.</p> <p>Al microscopio se observan fragmentos líticos de origen volcánico y otros indeterminados, inmersos en una matriz compuesta por pseudomorfos de ferromagnesianos, agregados de cuarzo secundario, sericita, arcillas, biotita secundaria, hidróxidos de hierro y minerales metálicos.</p> <p>Dentro de la sección se observan fragmentos de vetillas de cuarzo tipo A con diseminados metálicos (hematita).</p>		

La alteración se da por un reemplazo pervasivo de cuarzo secundario, un moderado a intenso metasomatismo potásico e incipientemente argilización (selectiva).

La mineralización metálica está constituida por cristales anhedrales de tamaño medio <0,1 mm de hematita y magnetita, tanto como disseminaciones distribuidas de manera heterogénea en la matriz o como impregnados en fragmentos líticos junto a rutilo. También se ven hidróxidos de hierro (goethita) como parches anhedrales pulvulentos sobre toda la matriz.

Dada la heterogeneidad de los constituyentes, así como de las características mineralógicas y texturales de la matriz, se presume un origen ígneo para la muestra, enmarcado en el campo de las brechas.

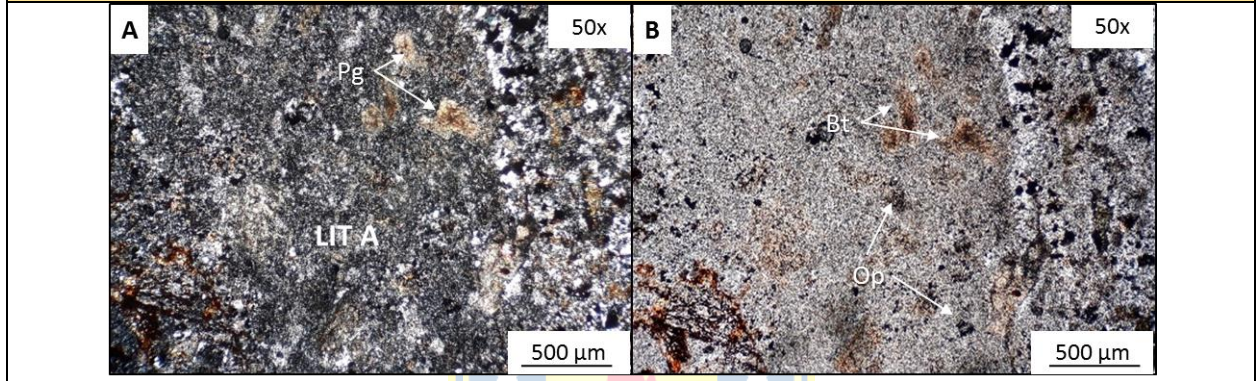
Observación Microscópica		
Fragmentos	Características	%
Fragmento "A"	Presentan una textura porfídica constituida por fenocristales de plagioclasas afectados moderadamente por sericita y biotita, inmersos en una masa fundamental completamente reemplazada por un agregado de cuarzo secundario y disseminaciones de minerales opacos. Dada las características texturales y mineralógicas de estos líticos, es probable un origen ígneo hipabisal.	8
Fragmento "B"	Fragmentos subangulares de tamaño variable, los cuales se encuentran totalmente reemplazados por un agregado de cuarzo secundario con arcillas, sericita, biotita secundaria y minerales opacos. No es posible clasificarlos.	5
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	32
Feldespatos potásicos	Ver mineralogía de alteración.	12
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	10
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	15
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	8
Opacos	Cristales anhedrales a localmente subhedrales de tamaño medio <0,1 mm. Se reconoce hematita, magnetita como disseminaciones distribuidas heterogéneamente en la matriz, asociados a cúmulos de biotita secundaria y como impregnaciones en fragmentos de plagioclasa junto a rutilo, y además, parches anhedrales de hidróxidos de hierro distribuidos heterogéneamente por toda la matriz.	10
Fragmentos: 13 %		Matriz: 87 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado micro a policristalino que se encuentra como reemplazo moderado a intenso de fragmentos líticos y como componente principal de la matriz y fragmentos de vetillas junto con sericita.	32
Feldespato potásico	Cristales anhedrales distribuidos en la matriz como parches y agregados cumulares. Se encuentra en conjunto a cuarzo secundario.	12
Sericita	Agregado microcristalino fibroso reconocido como alteración moderada de plagioclasas pertenecientes a distintos fragmentos líticos, como importante componente de la matriz de la muestra y en fragmento de vetilla de cuarzo tipo A.	10
Biotita secundaria	Cristales anhedrales a localmente subhedrales (tabular) y tamaños promedio <0,1 mm. Están presentes como cúmulos y parches diseminados en la matriz, y alterando fragmentos líticos de composición indeterminada.	15
Arcillas	Material criptocristalino indeterminado que ocurre como componente de la matriz en conjunto con sericita, cuarzo secundario y minerales metálicos. Alteración moderada de cristales plagioclasa en fragmentos líticos.	8
Minerales opacos	Características	%
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz y como componente de fragmento de vetilla tipo A. Reemplaza a magnetita en zonas de debilidad (martitización).	1
Magnetita	Cristales anhedrales localmente diseminados e impregnados en fragmentos de plagioclasa. En su mayoría está reemplazada por hematita.	<1
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados dentro de algunos fragmentos y en la matriz.	1
Goethita	Agregado anedral y pulvurento. Se observa una textura coloforme como diseminados en la matriz y en zonas de fractura.	8

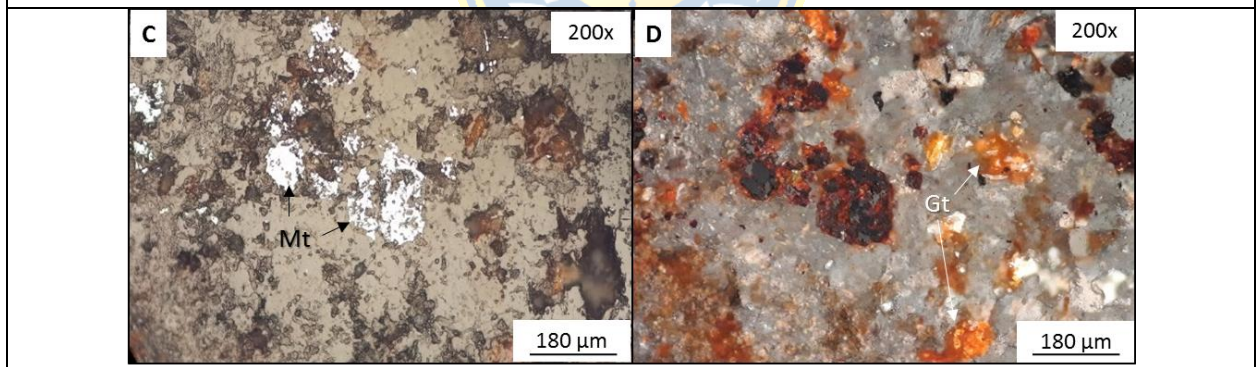
Alteración	Mineralogía	Intensidad
Silicificación	Qz	Moderada

Potásica	Fsp, bt, qz, ser ± mt	Moderada	
Argílica intermedia selectiva	Arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	Fragmentos rectilíneos, regulares y discontinuos	Qz, hm	-

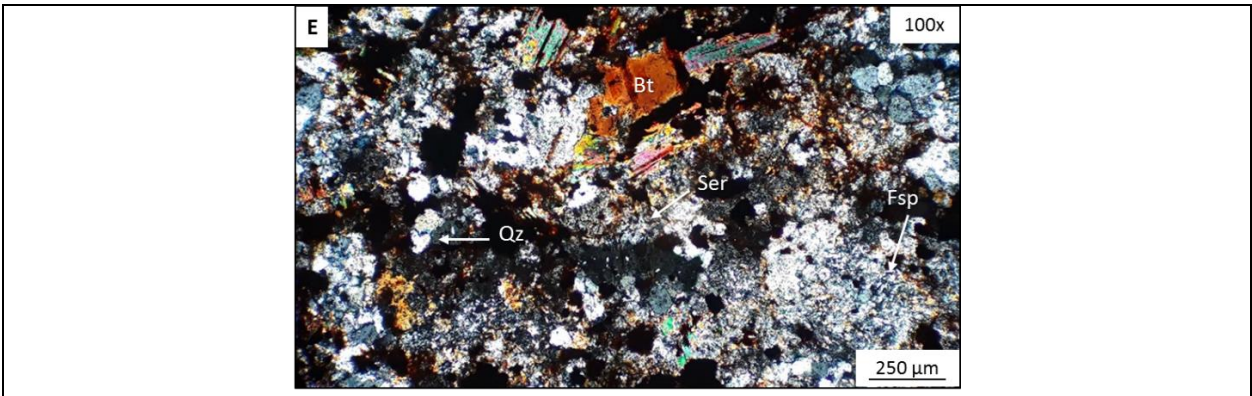
MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-02



A (Luz transmitida, NC), B (Luz transmitida, LPP): Fragmento lítico A de probable origen ígneo hipabisal. Presenta una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas intensamente biotitizados e inmersos en una masa fundamental completamente reemplazada por un agregado de cuarzo secundario y diseminaciones de minerales opacos (hematita).



C (Luz reflejada, LPP), D (Luz reflejada, NC): Cristales anhedrales de magnetita diseminados en conjunto con goethita como parches anhedrales y pulvurentos, formando parte de la matriz y a la vez alterando a los óxidos de Fe.



E (Luz transmitida, NC): Desarrollo principal de la mineralogía de alteración en la muestra. Se observa el reemplazo dado por feldespato potásico, biotita, cuarzo, sericita, minerales opacos (hematita) y de modo subordinado, material criptocrystalino arcilloso indeterminado en la matriz.

MUESTRA SM-03		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	5	★ 🔥 ★ Pórfido diorítico
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris claro con leve magnetismo y textura porfídica, compuesta por fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos inmersos en una masa fundamental fanerítica equigranular de grano fino.</p> <p>Al microscopio se observa una textura porfídica constituida de fenocristales de plagioclasa y hornblenda, inmersos en una masa fundamental hipidiomórfica granular con relictos de plagioclasa y un agregado dado por el reemplazo de cuarzo secundario, biotita secundaria, parches de clorita, sericita, arcillas y minerales opacos.</p> <p>La alteración afecta a los fenocristales de plagioclasas por una moderada a intensa sericitización y leve a moderada argilización, con impregnaciones de minerales opacos. Los anfíboles por su parte se encuentran leve a moderadamente biotitizados, asociados a impregnaciones de magnetita y rutilo. La masa fundamental se compone de un fuerte reemplazo de cuarzo</p>		

secundario, una leve a moderada sericitización junto con clorita, y argilización selectiva incipiente. Se observa presencia de anhidrita de manera subordinada en la masa fundamental. La mineralización metálica está constituida por cristales anhedrales de pirita, rutilo, calcopirita, hematita, covelina y calcosina. Estos ocurren como disseminaciones distribuidas homogéneamente dentro de la masa fundamental, e impregnaciones en cristales de plagioclasas y pseudomorfos de ferromagnesianos.

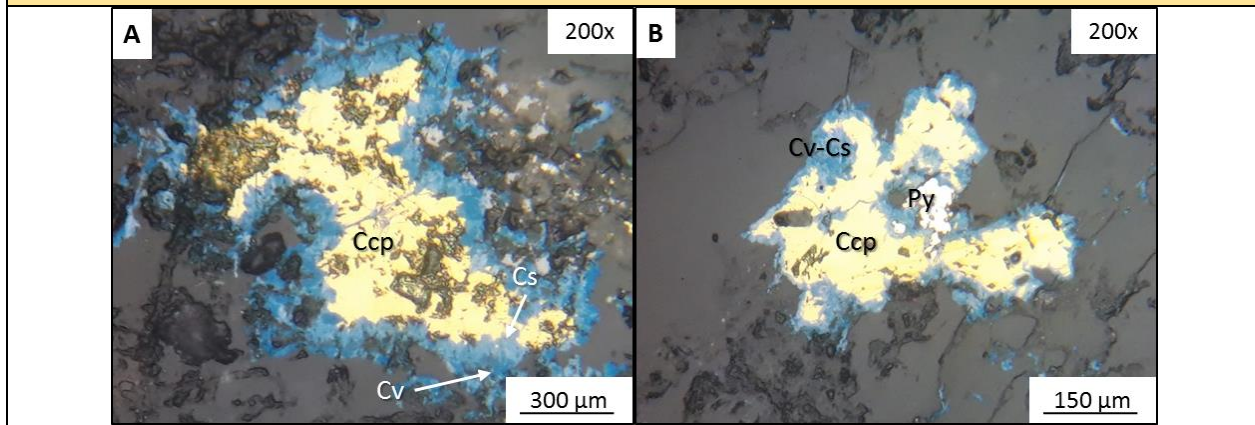
Las características texturales y mineralógicas primarias que aún se preservan, permiten clasificar la roca como ígnea hipabisal, composicionalmente enmarcadas en el campo de los pórfidos diorítico.

Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Poblaciones euhedrales a subhedrales de hábito tabular con tamaños de 5 – 3 mm y 0,4 – 0,8 mm. Presentan una moderada a intensa sericitización, leve a moderada argilización e impregnaciones de minerales opacos (py, ccp, cv, cs).	30
Hornblenda	Cristales subhedrales de hábito prismático y tamaño medio 3 mm. Presentan una leve a moderada biotitización y moderada sericitización junto con impregnaciones de minerales opacos (magnetita).	3
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales de bordes irregulares con tamaño medio <0,1 mm en la masa fundamental	8
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	3
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	17
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	8
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	3
Pirofilita	Ver mineralogía de alteración.	2
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	23
Opacos	Anhedrales a subhedrales con tamaño medio 1 mm. Disseminados en la masa fundamental y en cúmulos impregnados en relictos de minerales máficos.	3
Fenocristales: 33 %		Masa fundamental: 67 %

Minerales de alteración	Características	%
Clorita	Parches anhedrales implantados en algunos sectores de la masa fundamental.	3
Sericita	Agregado microcristalino a fibroso presente como alteración leve a moderada de plagioclasas.	17
Arcillas	Agregado criptocristalino indeterminado reconocido como alteración leve a moderada de plagioclasas.	8
Biotita secundaria	Cristales anhedrales de tamaño medio <1 mm presentes como parches en la masa fundamental, y en reemplazo total de probables ferromagnesianos dando origen a pseudomorfos semi tabulares en conjunto con impregnaciones de minerales opacos. Leve alteración de fenocristales de hornblenda.	3
Pirofilita	Cristales anhedrales fibrosos diseminados en la masa fundamental y en algunos casos reemplazando fenocristales de plagioclasa	2
Cuarzo secundario	Agregado mono a policristalino presente como diseminado y en cúmulos en la masa fundamental, y también en reemplazo de la mineralogía primaria.	23
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales euhedrales a subhedrales diseminados y en cúmulos sobre la masa fundamental. Localmente se observa textura de contacto simple con calcopirita y magnetita.	2
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental y localmente como impregnaciones en ganga no metálica.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados sobre fenocristales de plagioclasa. Localmente se observa textura de contacto simple con pirita y reemplazo hacia los bordes por covelina – calcosina.	<1
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la muestra y como impregnaciones en ganga no metálica. Se observa localmente con textura de contacto simple con pirita.	<1
Covelina	Cristales anhedrales sobre fenocristales de plagioclasa. Se observa intercrecido con calcosina, reemplazando a partir de los bordes a calcopirita.	Tr
Calcosina	Cristales anhedrales sobre fenocristales de plagioclasa. Se observa intercrecido con covelina reemplazando, a partir de los bordes a calcopirita.	Tr

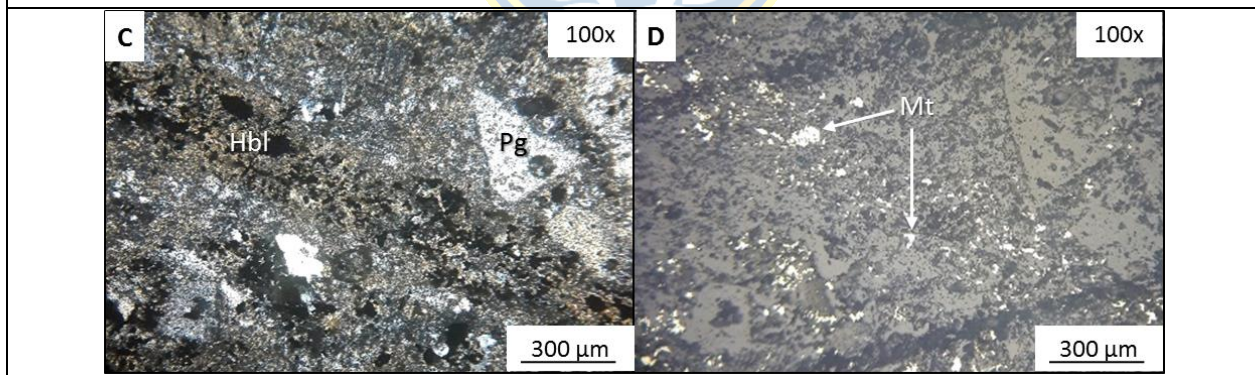
Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Fílica	Qz, ser ± chl, py	Moderada	
Argílica intermedia	Arcillas amorfas, prl	Leve a moderado	
Biotitización	Bt	Incipiente	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
-	-	-	-

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-03



A (Luz reflejada, LPP) : Calcopirita con reemplazo secundario de covelina y calcosina hacia los bordes. Se encuentran sobre fenocristales de plagioclasa.

B (Luz reflejada, LPP): Contacto simple de pirita y calcopirita con reemplazo de covelina y calcosina hacia sus bordes, sobre fenocristal 5mm de Plagioclasa sericitizada.

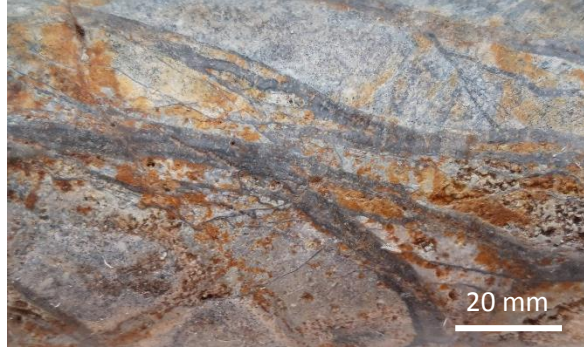


C (Luz transmitida, NC), D (Luz reflejada, LPP): se observa la textura porfídica compuesta de fenocristales de plagioclasas y hornblenda con impregnaciones de minerales opacos que además se encuentran diseminados en la masa fundamental (magnetita).

MUESTRA SM-04

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-004	33	Pórfido diorítico



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca gris claro con leve magnetismo y textura porfídica, compuesta por fenocristales de ferromagnesianos y plagioclasas en una masa fundamental fanerítica equigranular de grano fino.

Al microscopio se observa una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas inmersos en una masa fundamental microgranular con arreglo hipidiomórfico, caracterizada por el reemplazo de cuarzo secundario sobre la mineralogía primaria, parches y cúmulos de sericita, alunita, pirofilita, biotita secundaria y rutilo.

Las plagioclasas se ven moderada a intensamente sericitizadas, y levemente argilizadas. Poseen impregnaciones de minerales opacos (hematita, magnetita).

La muestra se encuentra cortada por:

- 4 vetillas tipo cuarzo bandeada, finas, continuas y rectilíneas de espesor medio 0,5 mm. No posee halo.
- 3 vetillas de cuarzo tipo A, gruesas, continuas y rectilíneas de tamaño medio 4 mm con diseminados metálicos de hematita, magnetita y calcopirita. Posee halo de feldespato potásico.

La alteración se compone de un agregado cristalino dado por el reemplazo de cuarzo secundario, feldespato potásico, parches y cúmulos de sericita, clorita y biotita secundaria, una argilización selectiva y finalmente una alteración supérgena que involucra hidróxidos de hierro.

La mineralización metálica consta de cristales anhedrales de tamaño medio inferior a 0,1 mm de hematita, magnetita, calcopirita y rutilo, los cuales se encuentran diseminados heterogéneamente en la masa fundamental y como impregnaciones en cristales de plagioclasa. Los hidróxidos de hierro ocurren como parches anhedrales y pulvurentos formando parte de la masa fundamental.

De acuerdo con las características texturales y mineralógicas primarias que aún se preservan, esta roca es clasificada como ígnea hipabisal cuya composición se restringe a la zona de pórfido diorítico.

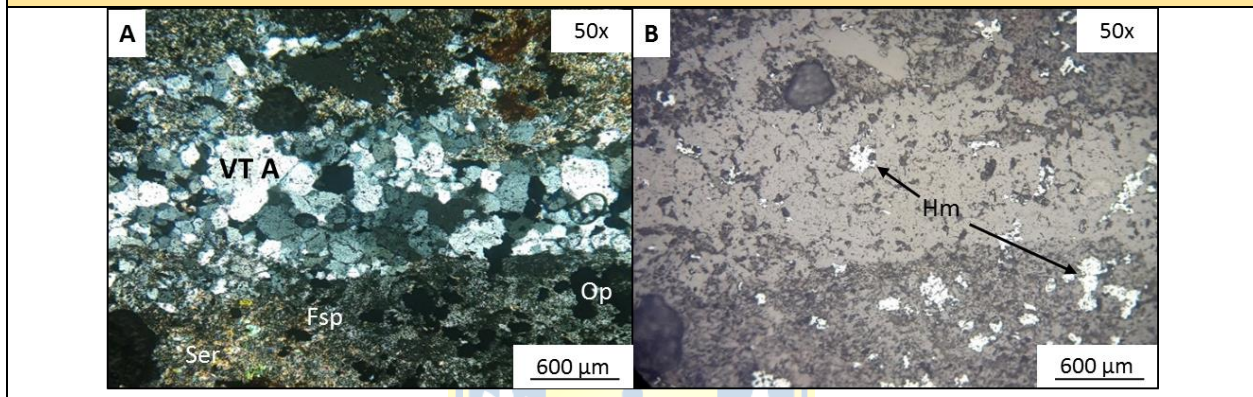
Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales a euhedrales de hábito tabular y tamaños desde 0,5 a 2 mm. Con moderada a intensa sericitización, leve argilización e impregnaciones de minerales metálicos (calcopirita, hematita, magnetita y rutilo).	26
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado micro a policristalino presente como principal reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental, y como componente principal de vetillas.	32
Feldespato potásico	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental en conjunto con cuarzo y sericita.	12
Sericita	Agregado microcristalino fibroso presente como alteración moderada de plagioclasas, como cúmulos en la masa fundamental y como halo de vetillas de cuarzo.	10
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado presente como alteración moderada a intensa de plagioclasas, y distribuida homogéneamente en la masa fundamental.	4
Biotita secundaria	Cristales anhedrales <1 mm diseminados en la masa fundamental como parches y cúmulos.	8
Clorita	Agregado cristalino acicular y fibroso dispuesto en la masa fundamental como parches y cúmulos diseminados, y también alrededor de vetillas.	6
Opacos	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,1 mm definidos por la presencia de hematita, magnetita y calcopirita diseminados homogéneamente en la masa fundamental y como impregnaciones de plagioclasas.	2
Fenocristales: 26 %		Masa fundamental: 74 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado micro a policristalino presente como principal reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental, y como componente principal de vetillas.	32
Feldespatos potásicos	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental en conjunto con cuarzo y sericita, y como halo de vetillas de cuarzo.	12
Sericita	Agregado microcristalino fibroso presente como alteración moderada de plagioclasas, como cúmulos en la masa fundamental y como halo de vetillas de cuarzo junto con feldespato potásico.	10
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado presente como alteración moderada a intensa de plagioclasas, y distribuida homogéneamente en la masa fundamental.	4
Biotita secundaria	Cristales anhedrales <1 mm diseminados en la masa fundamental como parches y cúmulos.	8
Clorita	Agregado cristalino acicular y fibroso dispuesto en la masa fundamental como parches y cúmulos diseminados, y también alrededor de vetillas.	6
Minerales opacos	Características	%
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental, en vetillas y como impregnaciones en plagioclasas. En la mayoría de los casos reemplaza a magnetita (martitización).	1
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental, en vetillas y como impregnación de plagioclasas. Comúnmente se ve reemplazada en zonas de debilidad por hematita.	<1
Calcopirita	Cristales anhedrales <1 mm diseminados en la masa fundamental y en vetillas.	Tr
Hidróxidos de hierro	Cristales anhedrales de goethita y limonita en forma de parches diseminados heterogéneamente en la masa fundamental. Asociado a Rutilo.	<1
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados heterogéneamente en la masa fundamental.	Tr

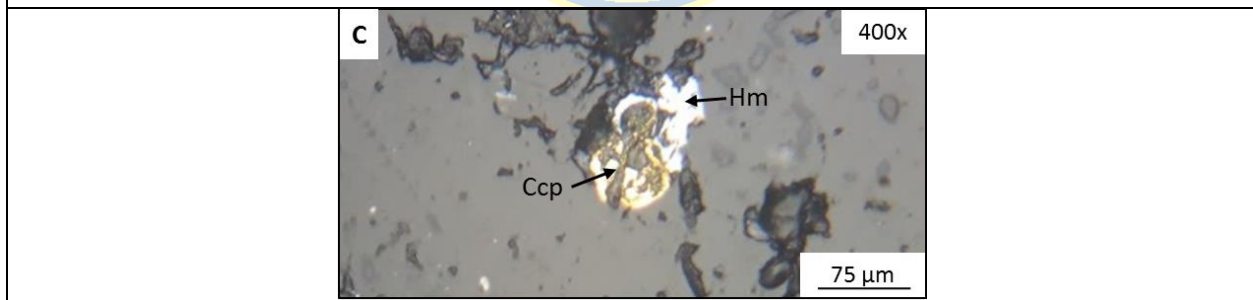
Alteración	Mineralogía	Intensidad
Potásica	Fsp, bt, qz	Moderada
Silicificación	Qz	Moderada

Sericita - Clorita	Chl, Ser, Qz +- Arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo cuarzo bandeado	Finas, rectilíneas, regulares y continuas. Tamaño medio 0,5 mm	Qz	-
Tipo A1	Gruesas, rectilíneas, irregulares y continuas. Tamaño medio 4 mm,	Qz, hm, mt, ± ccp	Fsp, ser


MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-04



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Vetilla gruesa tipo A compuesta de cuarzo secundario y diseminados de hematita que posee un halo mal preservado de feldespato potásico. Se observa emplazada en una masa fundamental con sericita, cuarzo secundario y hematita.



C (Luz reflejada, LPP): Cristales anhedrales de calcopirita en textura de contacto simple con hematita sobre vetilla de cuarzo tipo A.

MUESTRA SM-05		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	120	Diorita porfídica
		
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris verdoso con leve magnetismo y textura porfídica de condición hipabisal. Se compone por fenocristales de plagioclasa, cuarzo y ferromagnesianos inmersos en una masa fundamental afanítica.</p> <p>Al microscopio se reconoce una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa alterados a sericita con impregnaciones metálicas (magnetita y hematita). Estos se encuentran inmersos en una masa fundamental felsosídica donde hay importante reemplazo de cuarzo secundario y feldespato potásico.</p> <p>Cortando la muestra se observa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 vetilla de cuarzo continua levemente sinuosa a rectilínea de espesor medio 2 mm con calcita, clorita, piritita y calcopiritita. Posee halo de sericita y ha sido reutilizada por un material sin registro debido a manipulación externa (probablemente mineral muy deleznable) hacia el centro. <p>La alteración se representa por una moderada asociación propilítica y leve argilización. Por otro lado, se observa fuerte reemplazo de cuarzo secundario y feldespato potásico en la masa fundamental, y una local carbonatación asociada a los fenocristales de plagioclasa.</p> <p>La mineralización metálica se compone por cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio <0,1 mm caracterizados por piritita, calcopiritita, magnetita, hematita y rutilo. Estos se reconocen como diseminados en la masa fundamental de forma heterogénea e impregnaciones parciales en fenocristales de plagioclasa.</p> <p>Junto con la conservación de las características texturales y mineralógicas en la muestra, es posible clasificarla como una roca ígnea hipabisal que composicionalmente se encuentra en el campo de las dioritas porfídicas.</p>		

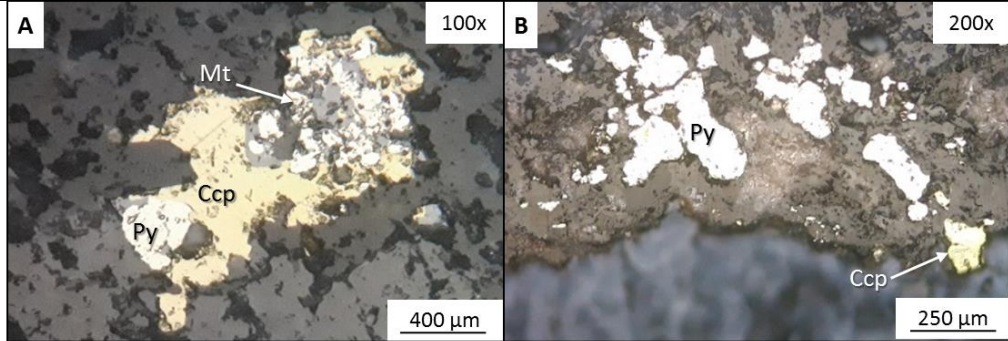
Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales euhedrales de textura seriada y hábito tabular. Tamaños entre 0,5 a 2,5 mm. Intensamente sericitizados en fracturas. Se asocian a calcita en microfracturas y presentan impregnaciones metálicas (magnetita y hematita).	40
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo	Cristales subhedrales a anhedrales de hasta 0,3 mm.	3
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	18
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	6
Epidota	Ver mineralogía de alteración.	3
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	7
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	10
Alunita	Ver mineralogía de alteración.	1
Pirofilita	Ver mineralogía de alteración.	2
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	2
Feldespató potásico	Ver mineralogía de alteración.	5
Albita	Ver mineralogía de alteración.	1
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio <0,1 mm, entre los que se reconoce pirita, magnetita, hematita, calcopirita y rutilo. Estos ocurren como diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la masa fundamental e impregnaciones menores en cristales de plagioclasa (magnetita y hematita).	2
Fenocristales: 40 %		Masa fundamental: 60 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Cristales anhedrales a subhedrales como reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental, con tamaños de hasta 0,06 mm.	18
Calcita	Cristales anhedrales afectando fenocristales de plagioclasa. Se presenta asociada a epidota, clorita y sericita.	6
Epidota	Granos subhedrales a anhedrales asociados a clorita y calcita de hasta 0,2 mm en fenocristales de plagioclasa.	3
Clorita	Cristales anhedrales producto de alteración de minerales máficos.	7

Sericita	Agregado microcristalino presente como relleno de microfracturas en fenocristales de plagioclasas.	10
Alunita	Cristales de aspecto fibroso diseminados en la masa fundamental.	1
Pirofilita	Finos cristales aciculares diseminados en la masa fundamental y alterando fenocristales de plagioclasa.	2
Arcilla	Material criptocristalino presente como alteración moderada de cristales de plagioclasa y de feldespatos potásicos.	2
Feldespatos potásicos	Cristales anhedrales distribuidos en la masa fundamental en conjunto a cuarzo secundario.	5
Albita	Reemplazo metasomático leve a moderado (Ca por Na) de fenocristales de plagioclasa hacia los bordes.	1
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental y en cúmulos. Se observa con textura de contacto simple con magnetita y calcopirita.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental y como textura de contacto simple con pirita y magnetita.	1
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental, se observa con textura de contacto simple con pirita y hematita, y textura de reemplazo por hematita (martitización).	<1
Hematita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental y en reemplazo de magnetita (Martitización) parcial a moderada.	<1
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental.	<1

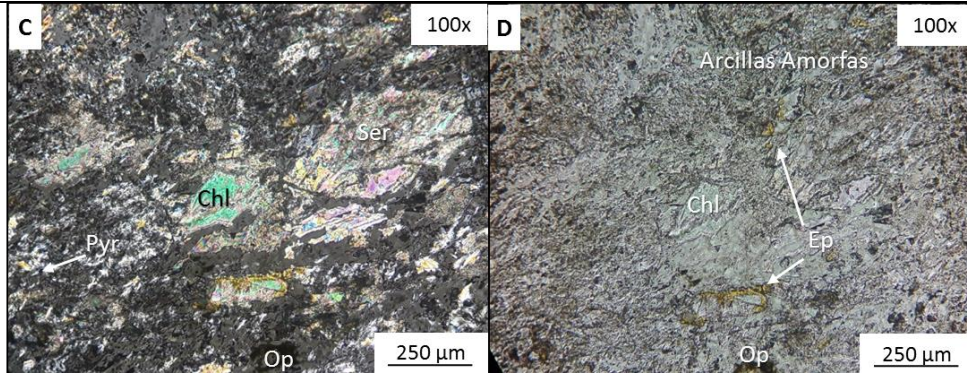
Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Propilítica	Chl, ser, qz, cc, fsp ± ep	Moderada	
Argílica avanzada	Alu, prl, qz ± arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo C3	Finas, sinuosas a rectas, irregulares y continuas. Tamaño medio 2 mm	Qz, cc, chl, py, ccp	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-05



A (Luz reflejada, LPP): Intercrecimiento de calcopirita junto a piritita y magnetita dentro de la masa fundamental.

B (Luz reflejada, LPP): Piritita y calcopirita en contacto simple en halo sericítico de vetilla de cuarzo tipo C3.



C (Luz transmitida, NC), D (Luz transmitida, LPP): Masa fundamental afectada moderadamente por alteración propilítica. Se observan minerales tales como clorita, pirofilita, epidota, arcillas amorfas y minerales opacos (pirita).

MUESTRA SM-06

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD071	1380	Toba cristalina



Descripción Macroscópica / Microscópica
<p>Roca de color gris claro con leve magnetismo y de textura piroclástica con presencia de fragmentos líticos de bordes redondeados de composición indeterminada, y fragmentos de cuarzo inmersos en una matriz fina. Cortando la roca se puede identificar el desarrollo de vetillas de cuarzo y anhidrita.</p> <p>Al microscopio se observa una textura cristalina con fragmentos de cuarzo y feldespato potásico en una matriz con reemplazo de cuarzo secundario y feldespato potásico, además de menores cantidades de anhidrita, calcitas, sericita, arcillas y diseminación de minerales opacos. Un 25% de la muestra está constituida por vetillas.</p> <p>Cortando la muestra se observan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 vetillas rectilíneas finas (espesor <1 mm) de cuarzo, con anhidrita, calcita, calcopirita, hematita y magnetita. Posee halo de sericita. - 3 vetillas que alcanzan espesores de 3 mm de cuarzo, con anhidrita, calcita, calcopirita, hematita y magnetita. Posee halo de sericita. - 1 vetilla levemente rectilínea y continua, de espesor medio 0,8 mm de cuarzo, con calcita, especularita, calcopirita y molibdenita. Posee un leve halo de sericita y clorita. - 4 vetillas muy finas (<1 mm) de cuarzo. <p>La alteración se define por un importante reemplazo de cuarzo secundario, seguido de una asociación potásica con feldespato potásico, parches de anhidrita y sericita. Finalmente se tienen cúmulos y parches de calcita y clorita, y una incipiente argilización.</p> <p>La mineralización metálica se distribuye según cristales de calcopirita, molibdenita, magnetita, hematita y pirita en la matriz, y como componentes de las distintas vetillas.</p> <p>Las características texturales y la proporción estimada de constituyentes tanto a escala microscópica como macroscópica clasifican a esta muestra como piroclástica enmarcada en el área de las tobas cristalinas.</p>

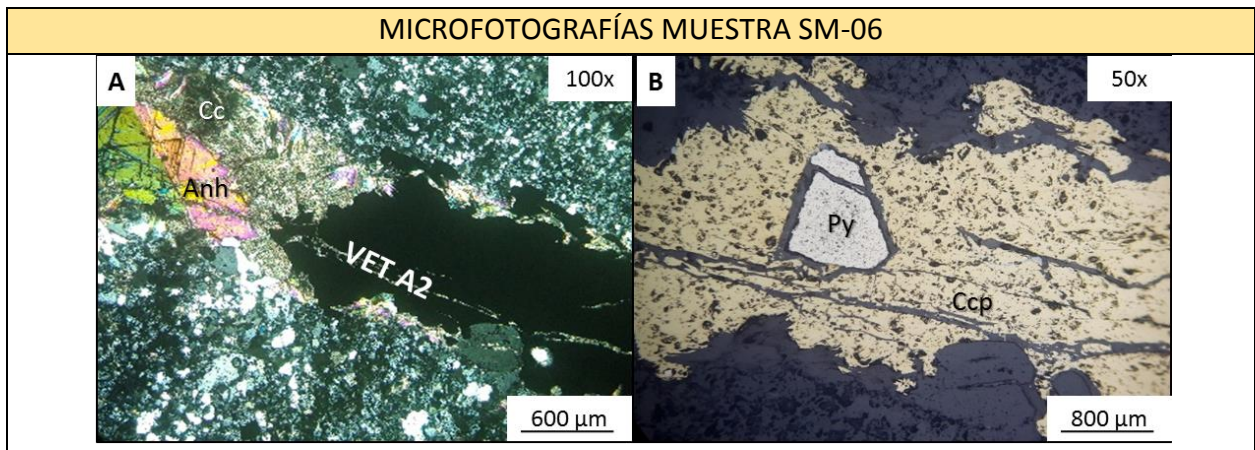
Observación Microscópica		
Lítricos/cristales	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales a localmente subhedrales de bordes irregulares con tamaños de hasta 1 mm	13
Feldespato potásico	Cristales subhedrales de hábito tabular y tamaño medio de 1,5 mm. Se encuentran alterados a sericita y arcillas.	8
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	45
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	11
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	7
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	4

Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	4
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	2
Clorita	Ver mineralogía de alteración	2
Opacos	Cristales subhedrales a localmente euhedrales de tamaño medio 0,5 mm y localmente alcanzando un tamaño de 4 mm. Ocurren como diseminaciones distribuidas en la matriz y como componente de las distintas vetillas.	4
Fragmentos: 21 %		Matriz: 79 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado policristalino como reemplazo pervasivo de la mineralogía primaria de la matriz, y como componente principal de vetillas.	48
Feldespatos potásico	Cristales anhedrales como reemplazo de la mineralogía primaria en la matriz y en menores cantidades formando parte de vetillas.	8
Anhidrita	Cristales subhedrales a anhedrales de 0,1 a 0,3 mm distribuidos heterogéneamente en la matriz y localmente en cúmulos. Cristales euhedrales a subhedrales como componente de vetillas.	7
Sericita	Agregado microcristalino en la matriz, y como componente de halo de vetilla tipo D.	4
Arcillas	Material criptocristalino distribuido heterogéneamente en la matriz y como alteración de feldespatos.	4
Calcita	Cristales anhedrales <1 mm como cúmulos diseminados en la matriz y como componente de vetilla.	2
Clorita	Cristales anhedrales <1 mm en forma de cúmulos y parches diseminados en la matriz.	2
Minerales opacos	Características	%
Magnetita	Cristales subhedrales a euhedrales diseminados en la matriz y como constituyente de las distintas vetillas. Exhibe reemplazo moderado por hematita, y localmente en contacto simple con calcopirita.	<1
Hematita	Cristales subhedrales tabulares en vetillas de cuarzo tipo C3 como variedad especularita, y diseminados en la matriz como	2

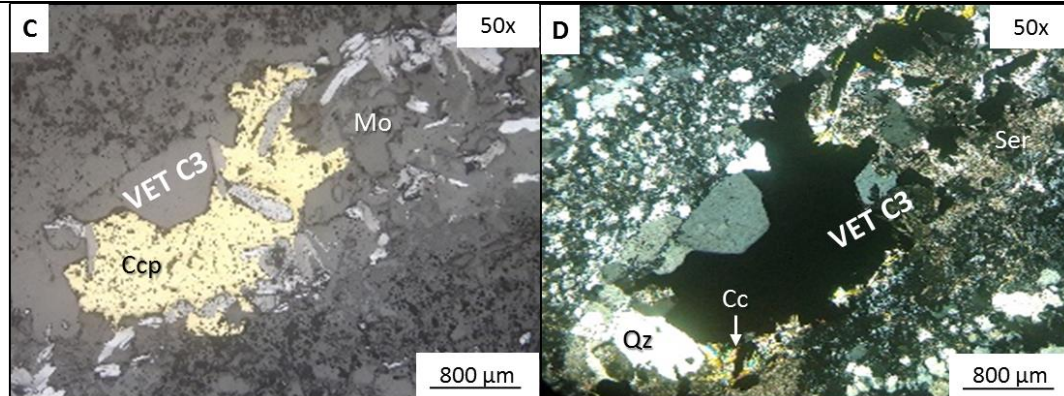
	reemplazo de magnetita (martitización). Localmente se presenta en contacto simple con calcopirita.	
Calcopirita	Cristales anhedrales presentes como diseminados dentro de la matriz y también como componente de vetillas. En algunos casos se observa textura de contacto simple con hematita y magnetita.	2
Molibdenita	Cristales subhedrales presentes en vetilla de cuarzo tipo C3 junto con calcopirita, calcita y especularita.	<1
Pirita	Localmente, cristal subhedral en fragmento de vetilla intercrecido con calcopirita.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Silicificación	Qz	Pervasivo	
Potásica	Fsp, ser, qz, anh ± mt	Leve a moderado	
Sericita - Clorita	Chl, ser, cc, qz	Leve	
Argílica intermedia	Arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A2	3 vetillas de espesor medio <1 mm y 3 vetillas más gruesas de 3 mm de espesor, rectas, regulares y continuas	Qz, anh, ccp, hm, mt	-
Tipo C3	1 vetilla de espesor medio 0,8 mm, levemente recta y continua	Qz, cc, chl,	Ser, chl
Tipo cuarzo bandeada	4 vetillas de espesor medio <1 mm, rectas y continuas	Qz	-



A (Luz transmitida, NC): Vetilla tipo A2 compuesta de anhidrita, calcita, cuarzo secundario y minerales opacos (pirita y calcopirita).

B (Luz reflejada, LPP): Minerales opacos que componen la vetilla tipo A2; cristal anhedral de calcopirita intercrecido con pirita subhedral.



C (Luz reflejada, LPP), D (Luz transmitida, NC): Cristales subhedrales de molibdenita en contacto simple con calcopirita, sobre vetillas tipo C3 compuestas por cuarzo secundario y calcita.

MUESTRA SM-07

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD0-77	639	Probable roca volcanoclástica



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color pardo grisáceo con un incipiente magnetismo y textura tipo fragmental compuesta por fragmentos subredondeados de origen volcánico y algunos fuertemente silicificados en una matriz aparentemente volcánica.

Al microscopio se reconoce una textura porfídica en la que se observan pseudomorfos de probables fenocristales de plagioclasas y cuarzo en una matriz completamente obliterada por un agregado de cuarzo secundario, sericita, diseminados de arcillas, anhidrita, pirofilita y minerales opacos.

La muestra se encuentra cortada por:

- 1 vetilla de cuarzo rectilínea y continua de espesor medio 8 mm compuesta de anhidrita, sericita, pirita y calcopirita.

- 1 vetilla de cuarzo rectilínea, desplazada por la vetilla antes descrita y con espesor medio de 7 mm, compuesta de anhidrita, sericita, pirita y calcopirita. Posee halo sericítico.
- 1 vetilla de cuarzo sinuosa y continua de espesor medio 4 mm de composición polimetálica, caracterizada por la presencia de adularia, calcita, calcopirita, hematita, esfalerita y galena.

La alteración consiste en una asociación cuarzo sericita moderada a pervasiva, además de una moderada argilización y reemplazo potásico leve.

La mineralización metálica está constituida por cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm en la matriz y 1 mm en las vetillas. Se tiene la presencia de pirita, magnetita, calcopirita, hematita y galena. Ocurren como disseminados homogéneos en la matriz y como componente de vetillas y en sutura de ellas.

El reconocimiento de una textura fragmental (en parte detrítica), donde se distinguen componentes líticos de distinto origen, pero principalmente ígneos subredondeados y asociados a una matriz de origen volcánico, podría indicar un origen volcanoclástico para esta muestra, clasificándola como un aglomerado.

observación Microscópica		
Líticos/cristales	Características	%
Indeterminado "A"	Cristales anhedrales de tamaño medio 1 mm. Probable textura mineralógica primaria que ha sido totalmente obliterada por la argilización.	8
Matriz/cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	35
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	6
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	8
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	<1
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	7
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	18
Pirofilita	Ver mineralogía de alteración.	4
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	7
Adularia	Ver mineralogía de alteración.	2
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm distribuidos homogéneamente en la matriz, dentro de los cuales se reconocen hematita, magnetita, calcopirita y pirita. Para el caso de vetillas, estos se encuentran presentes como disseminados y a la vez como componente de sutura junto con galena.	5

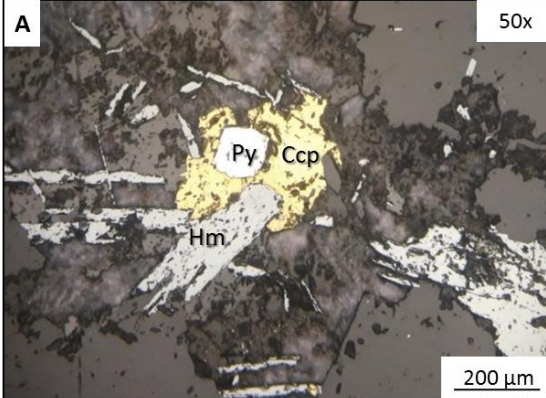
Fragmentos: 8 %	Matriz: 92 %
-----------------	--------------

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino que ocurre como principal reemplazo en la matriz en conjunto con sericita, cúmulos de arcilla y feldespato potásico. Además, es el principal componente de las vetillas que cortan a la muestra en conjunto con anhidrita, sericita y minerales opacos.	35
Biotita secundaria	Cristales anhedrales en forma de parches distribuidos heterogéneamente en la matriz.	6
Feldespato potásico	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,1 mm, presentes como reemplazo en la matriz. Asociado a cuarzo secundario.	8
Calcita	Cristales anhedrales diseminados en parches y cúmulos en la matriz y de manera subordinada en vetilla tipo E.	<1
Anhidrita	Cristales anhedrales de tamaño 0,1 – 0,2 diseminados en la masa fundamental, en cúmulos rellenando amígdalas junto a biotita secundaria, feldespato potásico y minerales opacos, y como componente de vetillas alcanzando tamaños de hasta 3 mm.	7
Sericita	Agregado microcristalino a fibroso reconocido como reemplazo en la matriz, probablemente en plagioclasas de mineralogía primaria.	18
Pirofilita	Cristales subhedrales fibrosos diseminados en la matriz.	4
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado presente como cúmulos distribuidos heterogéneamente en la matriz, como reemplazo total de probables cristales de plagioclasa y como impregnaciones de algunos minerales opacos. Se observa como alteración moderada de feldespatos potásicos que forman parte de la matriz.	7
Adularia	Cristales euhedrales de tamaño medio 1 mm en vetillas tipo E	2
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz y como componente de vetillas. Exhibe texturas de contacto simple con calcopirita, galena, magnetita y hematita.	2
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz. Localmente presenta texturas de contacto simple con calcopirita y pirita.	<1

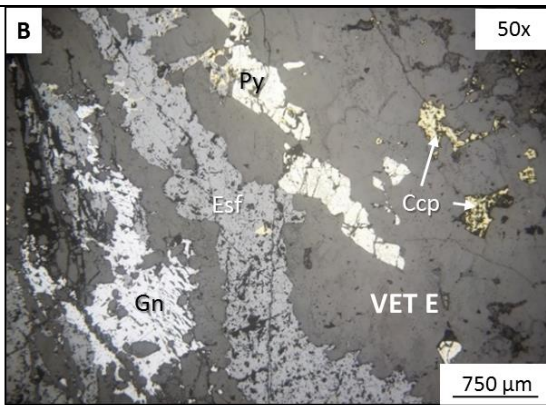
Esfalerita	Componente de vetillas polimetálicas (E) en conjunto con galena.	2
Galena	Componente de vetillas polimetálicas (E) en conjunto con esfalerita.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados en la matriz y también como componente de las vetillas. Presenta texturas de contacto simple con pirita, hematita, magnetita y galena. Localmente rellena espacios abiertos en hematita.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Fílica	Qz, ser, py	Moderado	
Potásica	Fsp, bt, ser, qz, anh +- mt	Leve a moderado	
Argílica intermedia	Prl, Arcillas amorfas	Moderada	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo C3	2 vetillas de espesores 7 y 8 mm, rectas, regulares y continuas.	Qz, anh, cc, ccp, hm (especularita), py	Ser
Tipo E	1 vetilla sinuosa y continua de espesor medio 4 mm. Reutiliza parcialmente a vetillas C3.	Qz, adl, cc, esf, gn, py	-

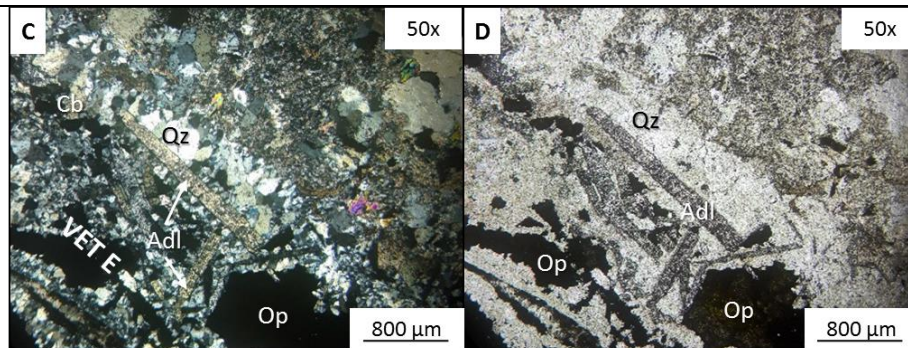
MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-07



A (Luz reflejada, LPP): Cristales anhedrales a subhedrales de calcopirita, pirita y hematita en contacto simple entre sí. Se encuentran diseminados en la matriz. 200x



B (Luz reflejada, LPP): vetilla tipo E, de carácter polimetálica, con galena, esfalerita y pirita como minerales metálicos principales.



C (Luz transmitida, NC), D (Luz transmitida, LPP): vetilla tipo E de tipo polimetálica con cuarzo, calcita, adularia y minerales opacos.

MUESTRA SM-08

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD077	737	Andesita



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris oscuro con leve magnetismo y textura afanítica con agregados cumulares de feldespato potásico y anhidrita en un agregado cristalino fino intensamente biotitizados.

Al microscopio es posible reconocer una textura vesicular dada por el relleno de amígdalas caracterizado por cúmulos de reemplazo con anhidrita, biotita secundaria, feldespato potásico y minerales opacos, los cuales también se encuentran desarrollados en vetillas.

Se observan 3 vetillas semi rectas de espesor <1 mm constituidas por anhidrita y menores cantidades de biotita secundaria, feldespato potásico y minerales opacos (magnetita, calcopirita), y 1 vetilla gruesa de cuarzo, la cual representa el 50% de la muestra, y un tamaño sobre 3 cm, compuesta por anhidrita, calcita, arcilla, pirita, calcopirita y magnetita.

La alteración principal está dada por una asociación potásica pervasiva de biotita secundaria, feldespato potásico y anhidrita.

La mineralización metálica se distribuye según minerales subhedrales a anhedrales de con tamaño medio de 0,1 mm de cristales de magnetita y calcopirita distribuidos homogéneamente dentro del agregado microcristalino, y también como componente de las distintas vetillas y de los agregados cumulares. Además, se observa pirita restringida al emplazamiento de la vetilla gruesa, con tamaños de hasta 1 cm y cantidades menores de goethita como material pulvurento en la masa fundamental.

A partir de la composición de la muestra, la textura afanítica y traquítica con microlitos de plagioclasa, junto con la presencia de vesículas, se le otorga un origen ígneo volcánico de composición andesítica.

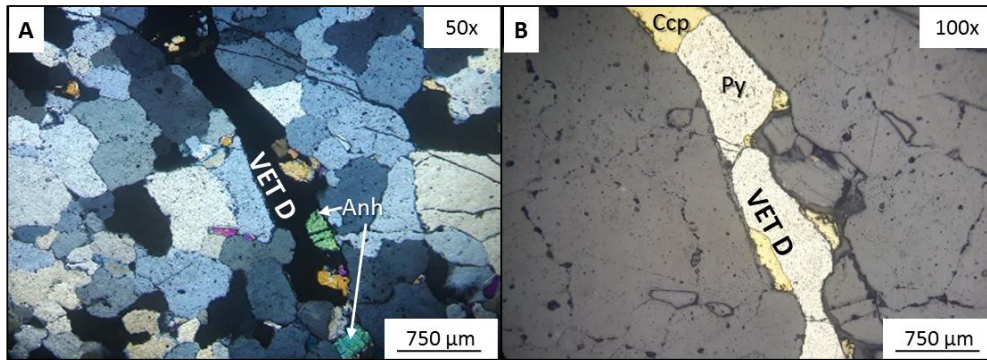
Observación Microscópica		
Fenocristales/Líticos	Características	%
-	-	-
Masa fundamental	Características	%
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	31
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	8
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	7
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	3
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	35
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	7
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	4
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales con tamaño medio <1 mm, caracterizados por magnetita, pirita y calcopirita como diseminados en la masa fundamental de la roca y del fragmento lítico, y como componente de vetilla. De manera restringida en la vetilla se observa pirita y calcopirita subhedral con tamaños de hasta 8 mm.	5
Fragmentos: 0 %		Matriz: 100 %

Minerales de alteración	Características	%
Biotita secundaria	Agregado cristalino anhedral a subhedral de tamaño medio <0,1 mm presente como reemplazo pervasivo de la mineralogía primaria en la masa fundamental, en cúmulos formando parte del relleno de las amígdalas asociadas a vetillas junto a anhidrita, feldespato secundario y minerales opacos, y en menor medida, formando parte de la mineralogía de reemplazo en el fragmento "A".	31
Anhidrita	Cristales anhedrales de tamaño 0,1 – 0,2 diseminados en la masa fundamental, en cúmulos rellenando amígdalas junto a biotita secundaria, feldespato potásico y minerales opacos, y como componente de vetillas alcanzando tamaños de hasta 3 mm.	8
Feldespato potásico	Cristales anhedrales con tamaño medio 0,1 mm diseminado heterogéneamente en la muestra, como constituyente de vetillas, y en agregados cumulares junto a biotita secundaria, anhidrita y minerales opacos rellenando amígdalas.	7

Arcilla	Agregado microcristalino indeterminado diseminado homogéneamente en la masa fundamental y en el fragmento "A".	3
Cuarzo secundario	Agregado micro a policristalino como componente principal de vetilla, en conjunto con cantidades menores de anhidrita, calcita y minerales opacos.	35
Sericita	Agregado microcristalino reconocido como alteración de mineralogía primaria en fragmento "A".	7
Calcita	Cristales anhedrales de hasta 4 mm restringidos a la vetilla.	4
Minerales opacos	Características	%
Hematita	Cristales anhedrales de tamaño medio <1 mm diseminados homogéneamente en la masa fundamental, y como componente de vetillas y agregados cumulares.	<1
Pirita	Cristales anhedrales a subhedrales presentes como componente de vetilla gruesa, exhibiendo textura de contacto simple con calcopirita y hematita.	5
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados y como componente de vetillas. En algunos casos se encuentra en contacto simple con pirita.	<1
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados dentro de la masa fundamental.	<1
Goethita	Agregado anhdral y pulvurento reconocido como parches dentro de la masa fundamental.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Bt, fsp, qz, anh ± cc	Pervasiva	
Argílica intermedia	Arcillas amorfas ± ser, qz	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
D	1 vetilla sinuosa a recta y discontinua de espesor medio 0,25 mm	Qz, anh, py, ccp	-

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-08



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): vetilla tipo D principalmente compuesta de cuarzo, anhidrita y minerales de mena como calcopirita en contacto simple con pirita.

MUESTRA SM-09

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	286	★ ★ ★ ★ ★ Pórfido diorítico



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris oscuro de textura porfídica dada por fenocristales de plagioclasas y ferromagnesianos en una masa fundamental equigranular fina alterada por la oxidación. Cortando la muestra se observan vetillas de cuarzo con pirita y halo sericítico.

Al microscopio se observa la textura porfídica compuesta de fenocristales de plagioclasas en una masa fundamental hipidiomórfica de grano muy fino caracterizada por cristales de plagioclasa como parte de la mineralogía primaria, mientras que la masa fundamental contiene un importante reemplazo de cuarzo secundario, sericita, arcillas, pirofilita y alunita.

Las plagioclasas se encuentran intensamente argilizadas junto a biotita secundaria e impregnaciones de minerales opacos (magnetita).

Cortando la muestra se tiene:

- 1 vetilla de cuarzo rectilínea de espesor medio 1,5 mm compuesta por pirita y calcopirita. Contiene un halo sericítico.
- 1 vetilla de cuarzo rectilínea de espesor medio 1 mm compuesta por calcopirita, magnetita, hematita, covelina, calcosina y halo sericítico.

La alteración se constituye por una asociación cuarzo-sericita moderada, una asociación propilítica de epidota, clorita y sericita moderada y una argilización leve dada por pirofilita, arcillas amorfas y alunita. Finalmente, se observa una biotización subordinada.

La mineralización metaliza se constituye por cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio <0,1 mm de magnetita, hematita, calcopirita, piritita, covelina, calcosina y rutilo. Estos se reconocen como diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la masa fundamental, como impregnaciones de fenocristales de plagioclasas, y como constituyente de las distintas vetillas alcanzando tamaños de hasta 1 mm (pirita).

De acuerdo con las características texturales y mineralógicas bien preservadas, la muestra se clasifica como roca ígnea hipabisal de composición diorítica.

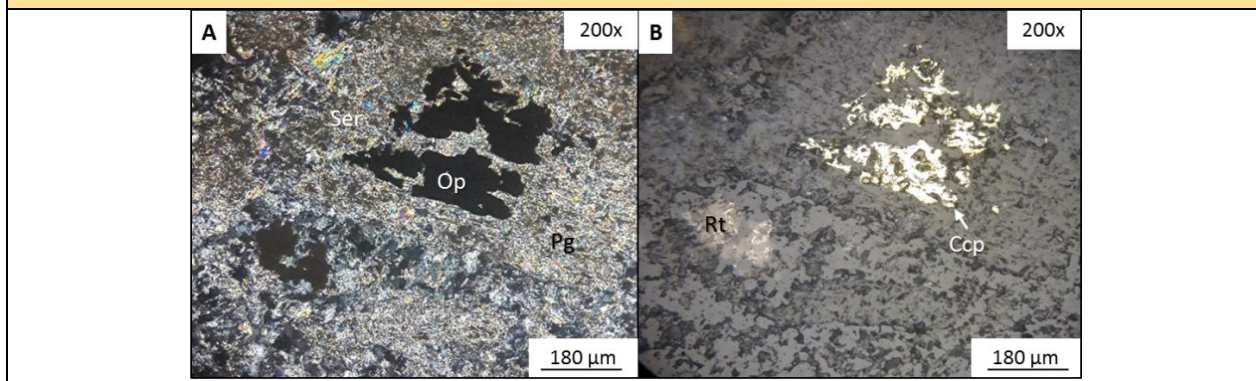
Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales a localmente euhedrales con hábito tabular y tamaño que alcanza hasta los 4 mm. Se encuentran moderadamente argilizados e intensamente sericitizados, ocasionalmente en conjunto con biotita secundaria e impregnaciones de minerales opacos (magnetita). Junto a vetillas aumenta el grado de sericitización.	47
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	22
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	6
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	7
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	6
Epidota	Ver mineralogía de alteración.	1
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	4
Pirofilita	Ver mineralogía de alteración.	3
Alunita	Ver mineralogía de alteración.	2
Turmalina	Ver mineralogía de alteración.	1
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio <0,1 mm de magnetita, hematita, calcopirita, piritita, covelina y calcosina reconocidos como diseminados heterogéneamente en la masa fundamental, constituyentes de vetillas y como impregnaciones en fenocristales de plagioclasa.	1
Fenocristales: 47 %		Masa fundamental: 53 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado micro a policristalino como reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental.	22
Biotita secundaria	Cristales anhedrales en forma de parches distribuidos heterogéneamente en la masa fundamental y ocasionalmente junto a plagioclasas.	6
Sericita	Agregado microcristalino y fibroso alterando pervasivamente a plagioclasas y moderadamente la masa fundamental, incrementando su intensidad hacia las vetillas, además se observa como halo de estas.	7
Arcilla	Material criptocristalino que altera fenocristales de plagioclasas y a la masa fundamental.	6
Epidota	Cristales finos <0,1 mm diseminados en la masa fundamental.	1
Clorita	Cristales anhedrales diseminados en algunos sectores de la masa fundamental.	4
Pirofilita	Finos cristales fibrosos diseminados en la masa fundamental y reemplazando fenocristales plagioclasa.	3
Alunita	Finos cristales fibrosos diseminados en la masa fundamental y reemplazando fenocristales plagioclasa.	2
Turmalina	Cristales subhedrales prismáticos como diseminados radiales en la masa fundamental en conjunto con minerales opacos.	1
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales subhedrales a anhedrales presentes como constituyente de vetillas y como diseminados en la masa fundamental según textura de contacto simple con calcopirita.	1
Hematita	Cristales anhedrales reconocidos como reemplazo de magnetita y en contacto simple con calcopirita diseminados en la muestra y como componente de vetillas.	<1
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental, encontrados como impregnaciones en plagioclasa y también como componente de vetillas. Se observa con reemplazo moderado de hematita y localmente como relleno de espacios abiertos en calcopirita.	<1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados heterogéneamente en la muestra y como componente de vetillas en menor medida. Se observa con reemplazo de covelina – calcosina y en contacto simple con pirita, magnetita y hematita.	<1

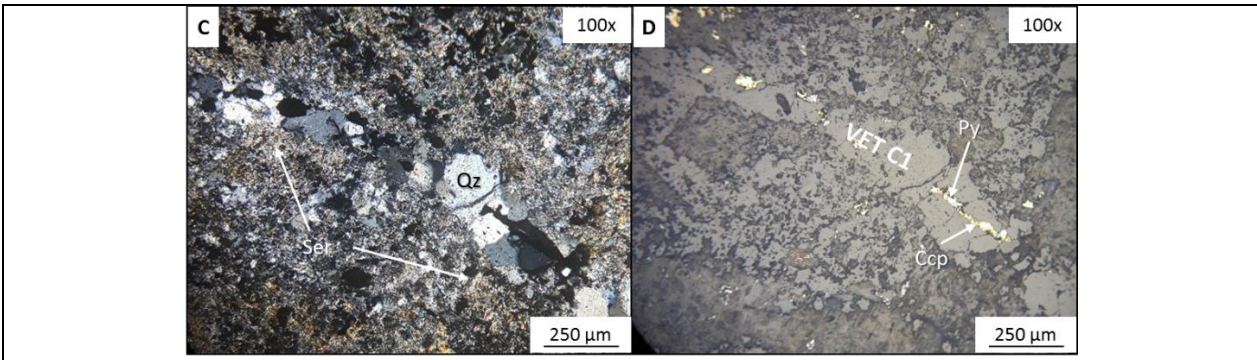
Covelina	Cristales anhedrales intercrecidos con calcosina en reemplazo de calcopirita a partir de los bordes.	Tr
Calcosina	Cristales anhedrales comúnmente intercrecidos con covelina reemplazando calcopirita.	Tr
Rutilo	Cristales anhedrales presentes como diseminaciones en la sección, exhibiendo ocasionalmente texturas de contacto simple con hematita, magnetita y calcopirita.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Fílica (QSP)	Qz, ser +- py, tur	Moderada	
Propilítica	Chl, ser +- ep	Leve a moderada	
Argílica avanzada	Arcillas amorfas, prl, al	Leve	
Biotización	Bt II	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo C1	1 vetilla de espesor medio 1,5 mm, rectilínea y continua.	Qz, py, Ccp	Ser
Tipo C2	1 vetilla de espesor medio 1 mm,, rectilínea y continua.	Qz, Ccp, mt, hm, cv, cs	Ser

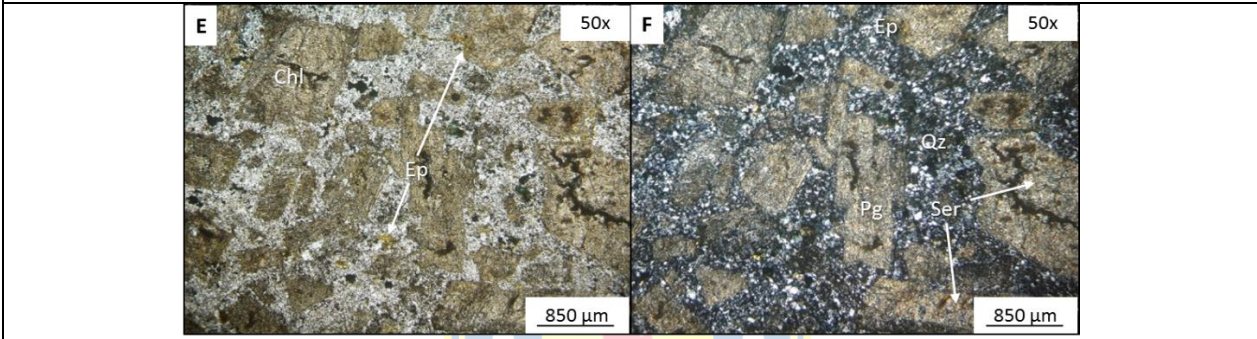
MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-09



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Relicto de plagioclasa intensamente sericitizado con intercrecimiento de cristales anhedrales de calcopirita. 200x



C (Luz transmitida, NC), D (Luz reflejada, LPP): vetilla tipo C1 caracterizada por cuarzo, calcopirita, pirita y un pequeño halo sericítico.



E (Luz transmitida, LPP), F (Luz transmitida, NC): Textura porfídica evidenciada por fenocristales de plagioclasa selectivamente sericitizados. Se observa una asociación con clorita y epidota. La masa fundamental principalmente se compone de un agregado cristalino de cuarzo secundario.

MUESTRA SM-10		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	390	Pórfido diorítico
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris oscuro con leve magnetismo y textura porfídica constituida por fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos incluidos en una masa fundamental equigranular fina con importante silicificación. Cortando la muestra se haya una vetilla de cuarzo con pirita, y vetillas finas de cuarzo recristalizado y de yeso.</p>		

Al microscopio se observa la textura porfídica con fenocristales de plagioclasas y hornblenda en una masa fundamental hipidiomórfica granular con cuarzo primario fino e importante reemplazo de cuarzo secundario, cúmulos y diseminados de anhidrita, biotita secundaria, clorita, calcita, epidota y minerales opacos.

Las plagioclasas se encuentran moderadamente alteradas a sericita en zonas de fractura y hacia los bordes. Se observa incipiente albitización en las mismas.

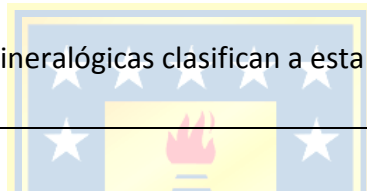
La muestra se encuentra cortada por:

- 1 vetilla de cuarzo gruesa de tamaño medio 8 mm caracterizada por un agregado cristalino de calcita, calcopirita, pirita y hematita. Contiene halo de sericita.

La alteración se da por una asociación potásica compuesta por biotita secundaria, feldespato potásico y anhidrita, una asociación propilítica (clorita, calcita y epidota), y finalmente una argilización selectiva.

La mineralización metálica se distribuye heterogéneamente en la masa fundamental y está constituida por cristales anhedrales a subhedrales de pirita, magnetita, hematita (martitización) y calcopirita.

Las características texturales y mineralógicas clasifican a esta roca como de tipo ígnea hipabisal de composición diorítica.



Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales a euhedrales de hábito tabular y tamaños de 0,5 – 4 mm. Presentan moderada sericitización en conjunto a cúmulos de anhidrita y biotita secundaria. Localmente se observa intensa albitización en algunos cristales.	30
Hornblenda	Cristales subhedrales a euhedrales de hábito tabular y localmente basal. Tamaño medio de 3 mm. Asociado a impregnaciones de magnetita. Se encuentran moderadamente epidotizados.	6
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	27
Cuarzo	Cristales anhedrales con bordes irregulares y tamaño medio de 0,3 mm.	3
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	5
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	5
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	2
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	8

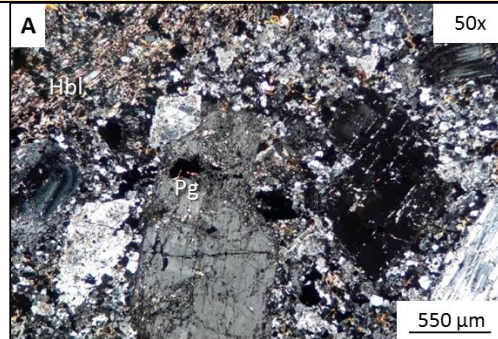
Feldespató potásico	Ver mineralogía de alteración.	8
Epidota	Ver mineralogía de alteración.	2
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	1
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaños variados entre 0,05 y 2 mm, caracterizados por presentar magnetita, hematita, pirita y calcopirita como diseminaciones heterogéneas dentro de la masa fundamental, y como impregnaciones en cristales de biotita y plagioclasa.	3
Fenocristales: 36 %		Masa fundamental: 64 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo Secundario	Agregado poli a microcristalino como componente en la matriz de la muestra.	27
Biotita secundaria	Cristales subhedrales a anhedrales con tamaño medio 0,1 mm como cúmulos en la masa fundamental y en reemplazo de ferromagnesianos.	4
Clorita	Agregado microcristalino de aspecto fibroso dentro en algunos sectores dentro de la matriz y asociado a biotita secundaria.	5
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado en conjunto a sericita, cuarzo secundario, calcitas y opacos en la matriz, y como alteración moderada en fenocristales de plagioclasa	2
Sericita	Agregado microcristalino alterando moderadamente plagioclasas y como componente en la matriz	8
Feldespató potásico	Cristales anhedrales <0,1 mm como reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental	8
Epidota	Cristales finos <0,1 mm diseminados en la masa fundamental.	2
Calcita	Cristales anhedrales y cúmulos en la masa fundamental de la muestra.	1
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental y también como componente de vetilla. Presenta textura de contacto simple con pirita y hematita.	2
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados y también como un componente importante de las vetillas. Exhibe texturas de contacto simple con calcopirita, rutilo y pirita. En algunos casos reemplaza a magnetita en zonas de debilidad.	<1

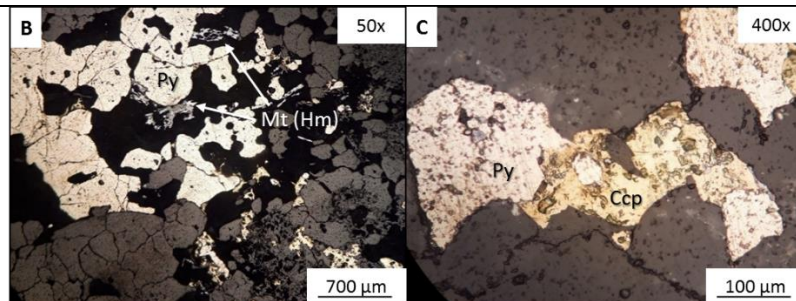
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la muestra. Comúnmente se observa reemplazado por hematita (martitización) en zonas de debilidad.	<1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental y también como componente de las vetillas. Presenta textura de contacto simple con pirita y hematita.	1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Bt, fsp, qz ± anh ± alb	Pervasiva	
Propilítica	Chl, ser, ep ± cc	Leve	
Argílica avanzada	Arcillas amorfas ± qz	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo C3	1 vetilla de espesor medio 8 mm, levemente sinuosa a recta y continua.	Qz, cc, hm (especularita), py, ccp	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-10

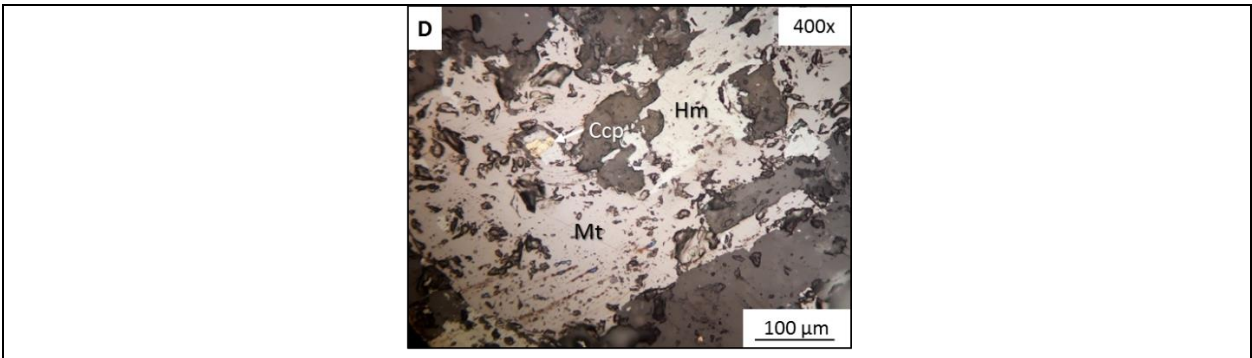


A (Luz transmitida, NC): Textura porfídica con fenocristales de plagioclasas y ferromagnesianos inmersos en una masa fundamental hipidiomórfica granular.



B (Luz reflejada, LPP): Cristales anhedrales a subhedrales de pirita, calcopirita, hematita y magnetita (martitizada), presentes en vetilla tipo C3.

C (Luz reflejada, LPP): Pirita en contacto simple e intercredida con calcopirita diseminados en la masa fundamental.



D (Luz reflejada, LPP): Minerales metálicos en la masa fundamental. Se observa magnetita en proceso de martitización (reemplazo por hematita), a su vez se encuentra en contacto simple con calcopirita.

MUESTRA SM-11
LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	460	Probable pórfido diorítico



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris con leve magnetismo y textura porfídica compuesta por fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos en una masa fundamental equigranular fina fuertemente silicificada. Cortando la muestra se observan vetillas de cuarzo con pirita y vetillas finas de cuarzo.

Al microscopio se observa una textura hipidiomórfica granular donde la mineralogía primaria se encuentra completamente obliterada por el reemplazo de cuarzo secundario, sericita, anhidrita, minerales opacos y arcilla.

La muestra se encuentra cortada por:

- 1 vetilla gruesa de cuarzo de 15 mm con pirita y halo sericítico.
- 3 vetillas de cuarzo, sinuosas, con <1 mm de grosor, compuestas de anhidrita, biotita secundaria, pirita, y halo con sericita y cuarzo secundario.

La alteración se ve compuesta por un reemplazo importante de cuarzo secundario, parches y cúmulos de sericita y anhidrita, diseminados de biotita y feldespato potásico, además de una argilización leve caracterizada por arcillas amorfas.

La mineralización metálica se constituye por cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 1 mm de pirita, calcopirita y magnetita principalmente, diseminados en la masa fundamental. En la vetilla se observa pirita subhedral masiva con tamaños de hasta 1 cm.

Las características texturales y mineralógicas en la muestra permiten interpretar que se trate de una roca de origen ígneo hipabisal, pero producto del grado de alteración de la mineralogía primaria no se puede dar una clasificación de mayor detalle.

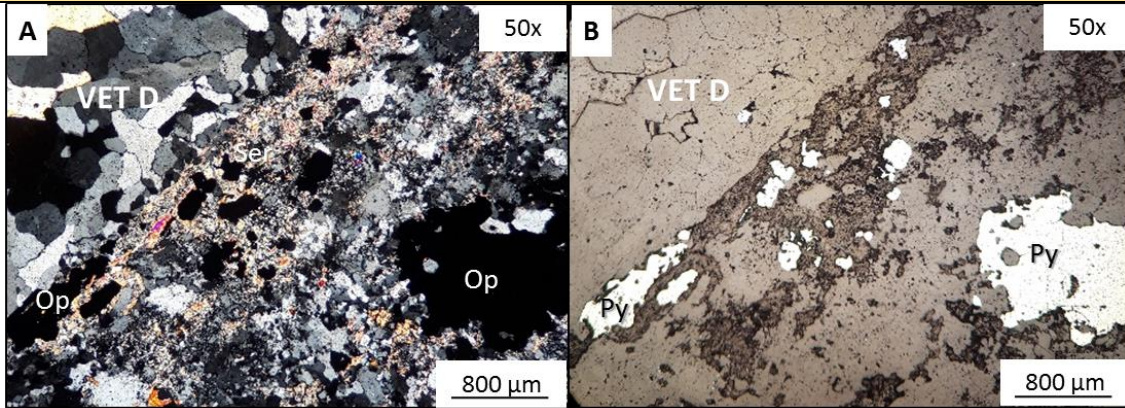
Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales redondeados con un tamaño medio de 0,8 mm que en ocasiones alcanza los 1,5 mm. Exhibe comúnmente bordes fracturados.	2
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	36
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	20
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	5
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	4
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	4
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	1
Opacos	Cristales anhedrales caracterizados por la importante presencia de pirita en la muestra (vetilla principal), y de forma subordinada magnetita, calcopirita y rutilo. Estas ocurren como componente de vetillas (pirita y magnetita), y diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la masa fundamental.	28
Fenocristales: 2 %		Masa fundamental: 98 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado policristalino como constituyente de la masa fundamental asociado a sericita, y de las distintas vetillas	36
Sericita	Agregado microcristalino a fibroso como componente principal de la masa fundamental y como halo de vetillas.	20

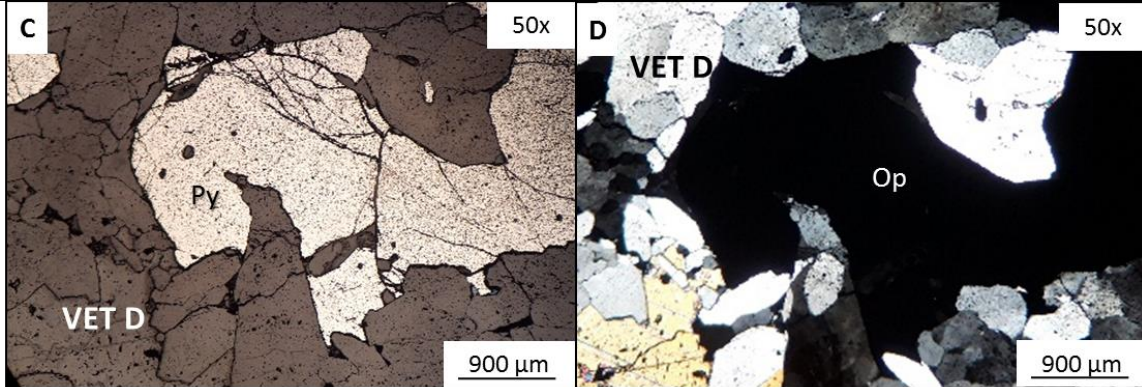
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado que se encuentra diseminado homogéneamente en la masa fundamental reemplazando la mineralogía primaria.	5
Anhidrita	Cristales anhedrales a subhedrales de hasta 2 mm como componente de la masa fundamental y de las distintas vetillas.	4
Feldespató potásico	Cristales anhedrales distribuidos heterogéneamente en la masa fundamental en forma de parches.	4
Biotita secundaria	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,2 mm como componente de vetillas finas.	1
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental y como componente principal de vetilla. En algunos casos exhibe texturas de contacto simple con calcopirita.	28
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental. Localmente presenta texturas de contacto simple con rutilo.	Tr
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados dentro de la sección. Exhibe textura de contacto simple con magnetita.	Tr
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental. En algunos casos exhibe textura de contacto simple con pirita.	Tr

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Fílica	Qz, ser	Pervasiva	
Potásica	Fsp, bt, qz, anh	Leve	
Argílica avanzada	Arcillas amorfas ± ser, qz	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo D	3 vetillas finas <1mm, rectas y continuas	Qz, anh, py	Ser + py ± qz
Tipo D	1 vetilla gruesa de 15mm, recta y continua.	Qz, py	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-11



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Vetilla gruesa de cuarzo, anhidrita y minerales opacos (pirita). Presenta halo sericítico con pirita, y esta a su vez se encuentra diseminada en la masa fundamental.



C (Luz reflejada, LPP), D (Luz transmitida, NC): Cristales anhedrales de pirita en vetilla tipo D, junto con cuarzo..

MUESTRA SM-12

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	564	Brecha magmática hidrotermal



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris claro con incipiente magnetismo. Presenta estructura brechoide, con fragmentos de vetillas tempranas y fragmentos subangulares a subredondeados de composición polimíctica matriz soportados.

Al microscopio se reconoce una textura de tipo conglomerádica constituida por fragmentos de aparente origen volcánico que han sido fuertemente argilizados, además se observan cristales de plagioclasa moderada a parcialmente argilizados y sericitizados. La matriz está compuesta de un agregado de cuarzo secundario, sericita, arcillas, anhidrita, feldespato potásico, calcita, pirofilita y minerales metálicos.

La alteración se compone de un reemplazo moderado de cuarzo secundario, un leve reemplazo dado por la asociación Sericita – Clorita, y moderada argilización.

Cortando la muestra se tiene:

- 2 vetillas de cuarzo, rectilíneas y de espesor medio 8 mm, compuesta por anhidrita y cantidades menores de hematita y calcopirita. A la vez, posee una sutura de minerales opacos principalmente definidos por pirita y calcopirita. Sin halo.
- 1 vetilla de cuarzo rectilínea, de espesor medio 3 mm, compuesta de calcopirita, magnetita y hematita. Producto de fracturamiento, esta vetilla se observa desplazada.
- 1 vetilla de cuarzo, rectilínea, de espesor medio 4 mm compuesta por sericita y minerales opacos (molibdenita y pirita). Posee halo sericítico.
- 1 vetilla de cuarzo, rectilínea, de espesor medio 0,5 mm compuesta de anhidrita, sericita, minerales opacos (calcopirita, pirita y magnetita). Sin halo.

La mineralización metálica se compone de cristales anhedrales a subhedrales de hasta 0,5 mm de hematita, magnetita, calcopirita, pirita y rutilo. Estos se reconocen principalmente distribuidos en la matriz, como impregnaciones en fragmentos de plagioclasa y como componente de las vetillas de cuarzo (ccp, py, hm, mt).

Dada la heterogeneidad en los constituyentes dentro de la muestra, así como también las características mineralógicas y texturales observadas macro y microscópicamente, es posible presumir un origen volcanoclástico en el marco de las brechas.

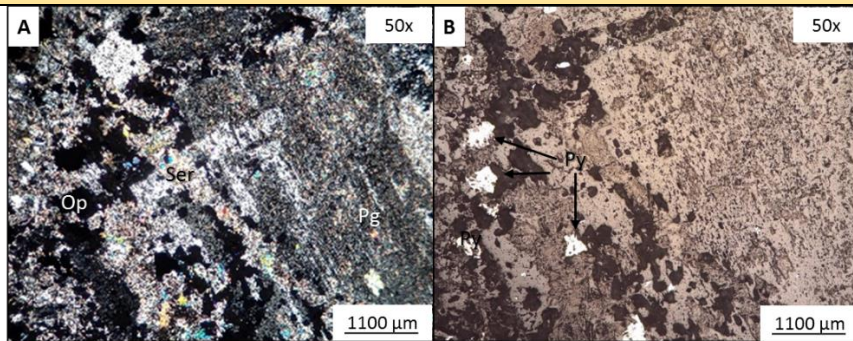
Observación Microscópica		
Fragmentos	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales de hábito tabular con bordes mal conservados que alcanzan tamaños de hasta 3 mm. Presentan intensa a moderada argilización y moderada sericitización.	18
Indeterminado	Cristales subhedrales de hasta 2 mm, sin bordes preservados. Están completamente argilizados por lo que sí es posible identificar su composición original.	5
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	33
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	11
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	5
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	8
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	4
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	4
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	1
Pirofilita	Ver mineralogía de alteración.	3
Polvo de roca	Distribuido en cúmulos heterogéneamente en la matriz.	5
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de hasta 0,5 mm dentro de los cuales se reconocen hematita, magnetita, calcopirita, pirita y rutilo. Estos se encuentran presentes como disseminaciones homogéneas dentro de la matriz, como impregnaciones en cristales de plagioclasa y como componente de vetillas.	3
Fragmentos: 23 %		Matriz: 77 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino que forma parte importante de la matriz. Es el componente principal de las vetillas que cortan a la muestra, y en ocasiones se observa como reemplazo parcial de algunos fragmentos.	33

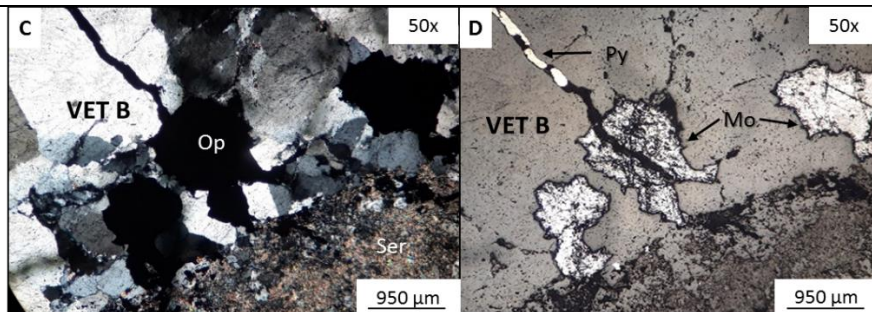
Sericita	Agregado fino y fibroso presente como alteración moderada de plagioclasa y fragmentos indeterminados. Dentro de la matriz se distribuye en forma de cúmulos y parches asociada a cuarzo secundario.	11
Arcillas	Material criptocristalino indeterminado. Se encuentra en cristales de plagioclasa como alteración moderada y en la matriz asociado a sericita, anhidrita, pirofilita y cuarzo secundario.	5
Feldespatos potásico	Cristales anhedrales distribuidos heterogéneamente en la matriz en forma de parches.	8
Anhidrita	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm. Se encuentran selectivamente alterando cristales de plagioclasa y como componente de vetillas y de la matriz.	4
Clorita	Agregado radial rellenando espacios en vetilla y localmente diseminado en la matriz. Se encuentra asociado a sericita.	4
Calcita	Cristales anhedrales que ocurren como parches distribuidos en la matriz. Aparentemente se encuentran alterando cristales de mineralización primaria.	1
Pirofilita	Finos cristales fibrosos diseminados en la matriz.	1
Minerales opacos	Características	%
Pirita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz y como componente de las vetillas y en sutura junto a calcopirita.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales hasta 0,7 mm diseminados en la sección y formando parte de las vetillas tanto como diseminado y como componente de sutura junto a pirita. Se observan texturas de contacto simple con hematita y magnetita.	1
Molibdenita	Cristales anhedrales formando parte de vetilla gruesa de cuarzo.	1
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados y como componente de vetillas. En ocasiones reemplaza a cristales de magnetita.	<1
Magnetita	Cristales anhedrales formando parte de vetillas y en la matriz. Se encuentra fuertemente reemplazada por hematita (martitización).	<1
Rutilo	Cristales anhedrales diseminados dentro de algunos fragmentos y en la matriz.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Silicificación	Qz	Moderada a Pervasiva	
Fílica	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve a Moderada	
Argílica avanzada	Arcillas amorfas ± ser, qz	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	2 vetillas rectilíneas y discontinuas de espesor medio 8 mm	Qz, anh, hm, ccp	-
Tipo A1	1 vetilla rectilínea y continua de espesor medio 3 mm	Qz, ccp, mt, hm	-
Tipo A2	1 vetilla rectilínea y continua de espesor medio 0,5 mm	Qz, anh, ccp, mt	-
Tipo B	1 vetilla levemente recta y continua de espesor medio 4 mm	Qz, mo	Fsp

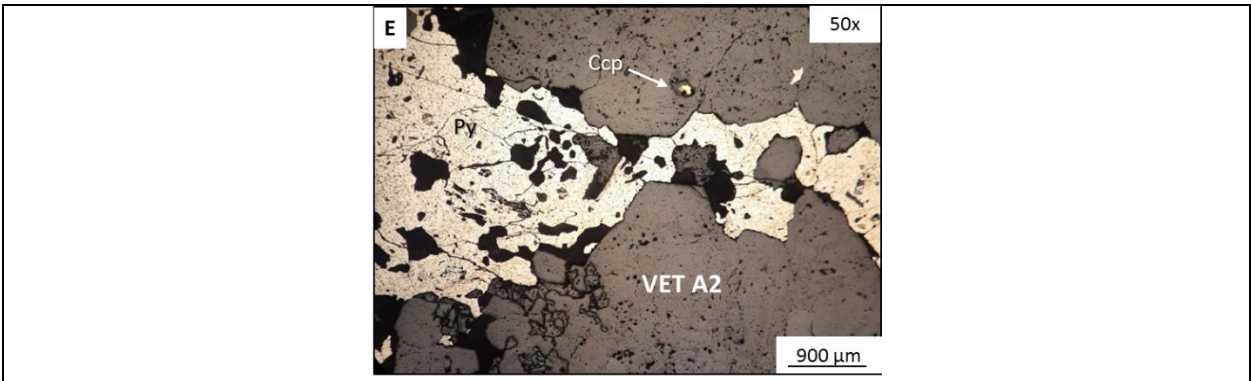
MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-12




A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Fenocristales de plagioclasa en la matriz, intensamente sericitizados y levemente alterados por arcillas. Se observa diseminados de py en bordes y asociadas a estos.



C (Luz transmitida, NC), D (Luz reflejada, LPP): Vetilla de cuarzo tipo B, con relleno de espacios abiertos dado por molibdenita. Posee halo de sericita y relleno posterior de pirita.



E (Luz reflejada, LPP): Sutura metálica de pirita en vetilla gruesa de cuarzo tipo A2. Localmente se observa cristal de calcopirita diseminado en la vetilla.

MUESTRA SM-13		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD027	592	★★★★★ Brecha
		
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris verdoso con incipiente magnetismo. A escala macroscópica presenta estructura brechoide, con fragmentos de vetillas tempranas y de clastos subangulares de composición polimíctica soportados por la matriz.</p> <p>Al microscopio sólo se observa matriz, vetillas y fragmentos de vetillas. La matriz se reconoce por una textura fanerítica localmente felsofídica constituida por un agregado de cuarzo secundario, feldespato potásico, biotita secundaria, anhidrita, clorita, arcilla y minerales opacos (calcopirita, pirita, magnetita, hematita).</p> <p>La alteración se compone de un reemplazo de cuarzo secundario, feldespato potásico, biotita secundaria, sericita y anhidrita definido por una alteración potásica moderada a intensa, una alteración clorita – sericita incipiente y una leve silicificación.</p> <p>Cortando la muestra se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 vetilla de cuarzo, sinuosa, de espesor medio 10 mm y compuesta por anhidrita, sericita y minerales opacos diseminados (magnetita, calcopirita y hematita). A la vez, posee una sutura de reemplazo dada por minerales metálicos como hematita (especularita), 		

calcopirita y pirita. Hacia los bordes se observa ocasionalmente biotita secundaria bordeando la vetilla.

- 1 vetilla de cuarzo, sinuosa, de espesor medio 1 mm y compuesta de calcopirita, magnetita y hematita. No presenta halo de alteración.

La mineralización metálica presenta cristales anhedrales a subhedrales de hasta 2 mm de hematita, magnetita, calcopirita y pirita. Estos se reconocen principalmente distribuidos en la matriz y como componente de las vetillas de cuarzo.

Dada la heterogeneidad en los constituyentes dentro de la muestra, así como también las características mineralógicas y texturales observadas macro y microscópicamente, es posible presumir un origen volcanoclástico en el marco de las brechas magmático-hidrotermales.

Observación Microscópica		
Fragmentos	Características	%
-	No se observan.	-
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	40
Feldespatos potásicos	Ver mineralogía de alteración.	20
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	15
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	5
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	5
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	5
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	5
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	<1
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de hasta 0,5 mm dentro de los cuales se reconocen hematita, magnetita, calcopirita, pirita y rutilo. Estos se encuentran presentes como disseminaciones homogéneas dentro de la matriz, como impregnaciones en cristales de plagioclasa y como componente y sutura de vetillas.	5
Fragmentos: 0 %		Matriz: 100 %

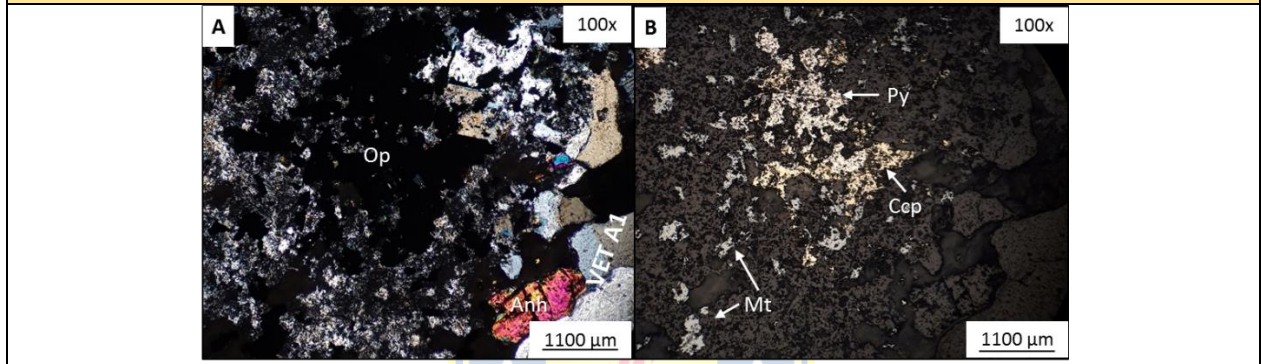
Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino que forma parte importante de la matriz.	40
Feldespatos potásicos	Reemplazo metasomático de la mineralización original en la matriz, se encuentra asociado a cuarzo secundario.	20

Biotita secundaria	Cristales anhedrales de tamaño medio <0,1 mm, los cuales ocurren como parches distribuidos heterogéneamente en la matriz incrementando hacia los bordes de algunas vetillas.	15
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado. Se encuentra en la matriz asociado a sericita, anhidrita y cuarzo secundario.	5
Anhidrita	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm. Se encuentran como componente de vetillas y de la matriz.	5
Sericita	Agregado fino y fibroso diseminado heterogéneamente dentro de la matriz	5
Clorita	Agregado radial rellenando espacios en vetilla y localmente diseminado en la matriz. Se encuentra asociado a sericita.	5
Calcita	Cristales anhedrales que ocurren como parches distribuidos en la matriz. Aparentemente se encuentran alterando cristales de mineralización primaria.	<1
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Pirita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz y como componente de vetillas. Se encuentra como en contacto simple con calcopirita, hematita y magnetita.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados dentro de la matriz y también como componente de vetillas. Presenta textura de contacto simple con pirita, hematita y magnetita.	1
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales con hábito tabular. Ocurren como diseminaciones en la matriz y como componente de vetilla en contacto simple con calcopirita y magnetita.	2
Magnetita	Cristales anhedrales diseminados en la matriz y como componente de vetilla. Se observa reemplazado por hematita y localmente presenta textura de contacto simple con calcopirita y pirita.	1

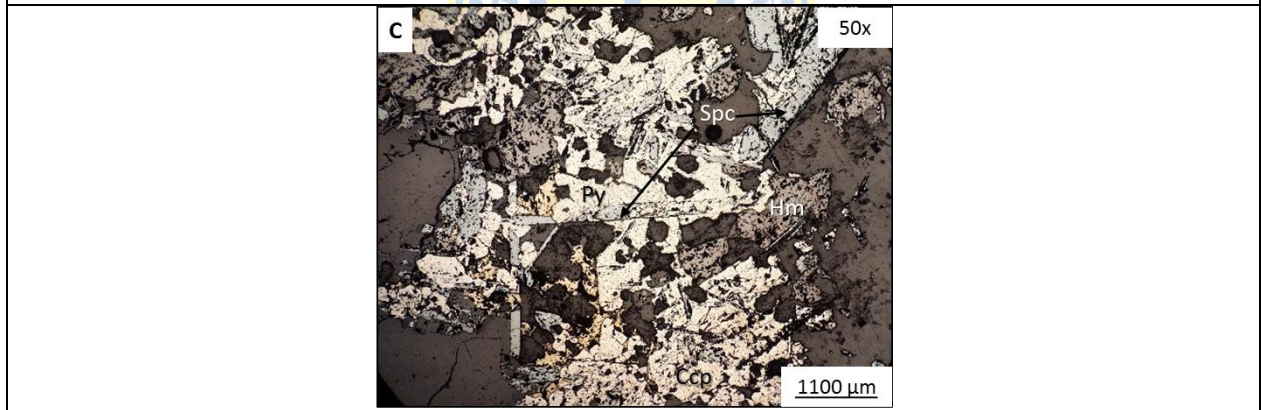
Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz ± anh	Moderada a pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve a moderada	
Silicificación	Qz	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	1 vetilla sinuosa y continua de 10 mm de espesor medio	Qz, anh, ser, mt, ccp, hm	-

Tipo C3	Reemplazo sinuoso y discontinuo sobre centro de vetilla gruesa A1. De 2 mm de espesor medio.	Qz, spc, chl, py, ccp	-
Tipo A1	1 vetilla sinuosa y discontinua de espesor medio 1 mm	Qz, ccp, mt, hm	-

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-13



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Vetilla de cuarzo tipo A1 con anhidrita inmersas en un matriz compuesta por feldespato, cuarzo y vidrio volcánico junto a minerales metálicos como magnetita, calcopirita y pirita.



C (Luz reflejada, LPP): Vetilla gruesa de cuarzo tipo A con reutilización de evento C. Producto de este último se observa calcopirita como relleno de espacios abiertos en la sutura asociada al evento C sobre el evento A y hematita de tipo anhedral y tabular (especularita).

MUESTRA SM-14

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD048	982	Andesita



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris oscuro con leve magnetismo y textura afanítica con agregados cumulares de feldespato potásico y anhidrita en un agregado cristalino fino fuertemente biotitizado.

Al microscopio es posible reconocer una textura microcristalina con relictos de fenocristales de plagioclasa levemente orientados, y de tamaños por sobre los 4 mm, además se observa una textura traquítica con microlitos de plagioclasa localmente orientados, fuerte reemplazo dado por un agregado de biotita secundaria, minerales opacos, feldespato potásico y anhidrita.

Dentro de la sección se aprecian agregados cumulares de hasta 3 mm que podrían corresponder a relleno de amígdalas caracterizada por anhidrita, biotita secundaria, feldespato potásico y minerales opacos, y que también se asocian al emplazamiento de vetillas.

Cortando la muestra se observa:

- 4 vetillas de cuarzo, levemente sinuosas de espesor medio <1 mm constituidas por anhidrita y menores cantidades de biotita secundaria y minerales opacos (magnetita, calcopirita).
- 1 vetilla de cuarzo de 1 mm de espesor compuesta por anhidrita, magnetita, calcopirita y bornita.

La alteración principal está dada por una asociación potásica pervasiva de biotita secundaria, feldespato potásico y anhidrita.

La mineralización metálica se distribuye según cristales subhedrales a anhedrales con tamaño medio 0,1 mm de magnetita, calcopirita y bornita distribuidos homogéneamente en la matriz, y también como componente de las distintas vetillas y de los agregados cumulares.

Producto de la obliteración de la mineralogía primaria, no es posible señalar una clasificación petrográfica determinante, aunque la composición de la muestra, la textura porfídica que ha sido alterada y la textura traquítica con microlitos de plagioclasa, sugieren un probable origen ígneo volcánico similar a una andesita.

Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales alargados y tabulares de 0,5 a 1 mm localmente distribuidos y bien preservados.	4
Feldespató potásico	Cristales anhedral de 0,8 a 1,5 mm con parches de anhidrita	1
Masa fundamental	Características	%
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	42
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	8
Plagioclasa	Agregado microcristalino distribuido en la masa fundamental. Tamaño medio <1 mm.	5
Feldespató potásico	Ver mineralogía de alteración.	23
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	15
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm con presencia de magnetita, calcopirita y bornita como diseminados en la masa fundamental, como componente de vetillas y asociado a agregados cumulares junto con anhidrita, biotita secundaria y feldespató potásico.	2
Fenocristales: 5 %		Masa Fundamental: 95 %

Minerales de alteración	Características	%
Biotita secundaria	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,1 mm principalmente como reemplazo pervasivo de la mineralogía primaria distribuidos homogéneamente en toda la sección, además se observa como componente de las distintas vetillas, en forma de cúmulos y asociados a relictos de fenocristales de plagioclasa.	42
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino como componente de algunas vetillas y diseminado en la masa fundamental.	8
Feldespató potásico	Cristales anhedrales <1 mm como agregado masivo producto de reemplazo de mineralogía primaria, y como constituyente de agregados cumulares y vetillas.	23
Anhidrita	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm, pero localmente alcanzando tamaños de hasta 0,5 mm. Se encuentra como componente principal de vetillas, como parches diseminados en la masa fundamental, y como cúmulos	15

	asociada a biotita secundaria, feldespato potásico y minerales opacos.	
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales (localmente se observa grano euedral aislado de 1 mm). Presente como diseminado y componente de agregados cumulares y vetillas. En ocasiones se observa un reemplazo parcial dado por hematita (martitización).	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados, y como componente de vetillas y de agregados cumulares. En algunos casos se encuentra en intercrecimiento con bornita y asociado a magnetita.	1
Bornita	Cristales anhedrales diseminados y principalmente como constituyente de vetilla. Se presenta según texturas de reemplazo de calcopirita.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz, anh	Pervasiva	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	4 vetillas levemente sinuosas y discontinuas de espesor medio <1 mm	Qz, anh, bt, mt, ccp	-
Tipo A2	1 vetilla rectilínea y continua de espesor medio 1 mm	Qz, anh, mt, ccp, bn	-

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-14

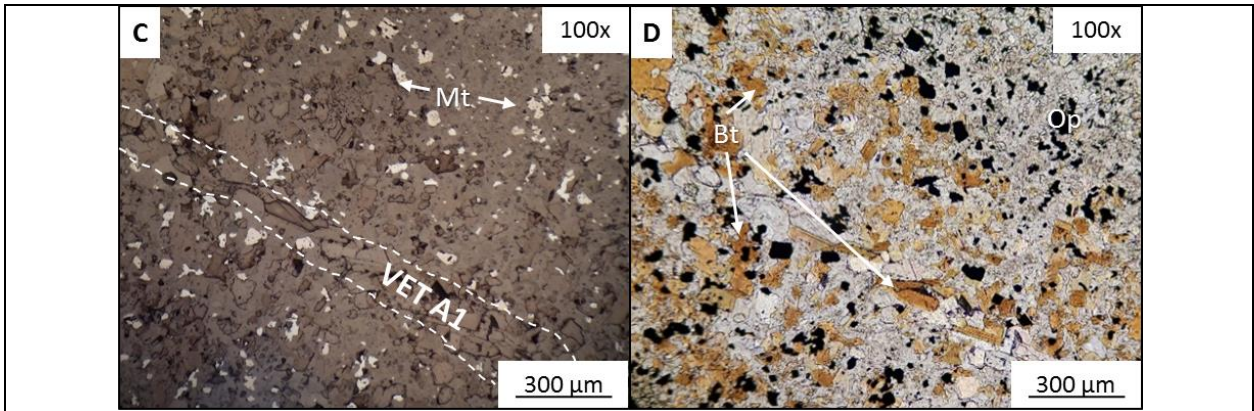
A 400x

250 µm


B 400x

250 µm

A (Luz reflejada, LPP), B (Luz transmitida, NC): matriz de andesita intensamente alterada por biotita y feldespato potásico junto con diseminados de magnetita y calcopirita con reemplazo de bornita.



C (Luz reflejada, LPP), D (Luz transmitida, LPP): Desarrollo de vetillas de cuarzo tipo A1 con anhidrita, diseminados de magnetita.

MUESTRA SM-15		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD048	1098	Monzodiorita porfídica
		
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris oscuro con leve magnetismo y textura porfídica compuesta por fenocristales de plagioclasas y ferromagnesianos incluidos en una masa fundamental fanerítica granular afanítica.</p> <p>Al microscopio se reconoce una textura porfídica constituida de fenocristales de plagioclasa, feldespato potásico y pseudomorfos de ferromagnesianos en una masa fundamental hipidiomórfica granular, compuesta por el reemplazo de un agregado de cuarzo secundario, parches de clorita, sericita, calcita, anhidrita, arcillas, biotita secundaria y minerales metálicos. Las plagioclasas se encuentran leve a moderadamente argilizadas y moderadamente sericitizadas, mientras que, en algunos casos, a partir de sus bordes y debilidades cristalinas, presentan un débil metasomatismo potásico. Los feldespatos potásicos se encuentran moderada a intensamente argilizados y también poseen impregnaciones de minerales metálicos. Pseudomorfos de ferromagnesianos se encuentran totalmente reemplazados por clorita y biotita secundarias.</p>		

Cortan a la muestra:

- 1 vetilla gruesa de espesor medio 5 mm, rectilínea y caracterizada por la presencia principal de cuarzo secundario, anhidrita, feldespato potásico y minerales opacos diseminados (calcopirita, hematita, magnetita y bornita). Por otro lado, se observa reutilización central por evento posterior caracterizado por calcita, clorita, pirita y hematita. Presenta halo de sericita
- 1 vetilla fina, rectilínea y de espesor medio 0,2 mm compuesta por cuarzo secundario, anhidrita, calcita, clorita y minerales opacos (pirita y calcopirita). Posee halo de sericita.

La alteración se encuentra representada por un moderado reemplazo dado por sericita – clorita de carácter selectivo, mientras que se observa un metasomatismo potásico moderado a pervasivo que engloba a la muestra.

La mineralización metálica consta de cristales anhedrales a localmente subhedrales de tamaño medio 0,1 mm caracterizados por magnetita, hematita, calcopirita y bornita, que ocurren como diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la masa fundamental, también como impregnaciones en cristales de plagioclasas y feldespatos potásicos, y además como componente de ambas vetillas y en la sutura central de la vetilla más gruesa.

El reconocimiento una textura porfídica dada por fenocristales de plagioclasas, feldespatos potásicos y pseudomorfos de ferromagnesianos inmersos en una masa fundamental con arreglo hipidiomórfico granular, permite clasificar a esta roca como ígnea hipabisal que composicionalmente se enmarca en el campo de una monzodiorita porfídica.

Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales de hábito tabular y tamaño medio 1,8 mm. Exhiben leve a moderada argilización y moderada sericitización que aumenta en fracturas y un débil metasomatismo potásico a partir de los bordes y debilidades cristalinas. En ocasiones presenta impregnaciones metálicas finas.	36
Hornblenda	Relictos de hornblenda parcialmente identificados producto de la alteración pervasiva de biotita secundaria y clorita, con tamaños de hasta 1,2 mm	4
Feldespato potásico	Cristales subhedrales de tamaño medio 1,8 mm afectados por una argilización moderada a intensa e impregnaciones de minerales metálicos (hematita y magnetita).	5
Masa fundamental	Características	%
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	5
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	6

Feldespató potásico	Ver mineralogía de alteración.	4
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	10
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	10
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	8
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	2
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	4
Opacos	Cristales anhedrales a localmente subhedrales de tamaño medio 0,1 mm caracterizados por la presencia de magnetita, hematita, calcopirita y bornita. Estos se reconocen como diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la masa fundamental, impregnaciones en cristales de plagioclasa, feldespató potásico, y pseudomorfos de ferromagnesianos biotitizados. Por último, se reconocen como componente de vetillas.	6
Fenocristales: 45 %		Masa fundamental: 55 %

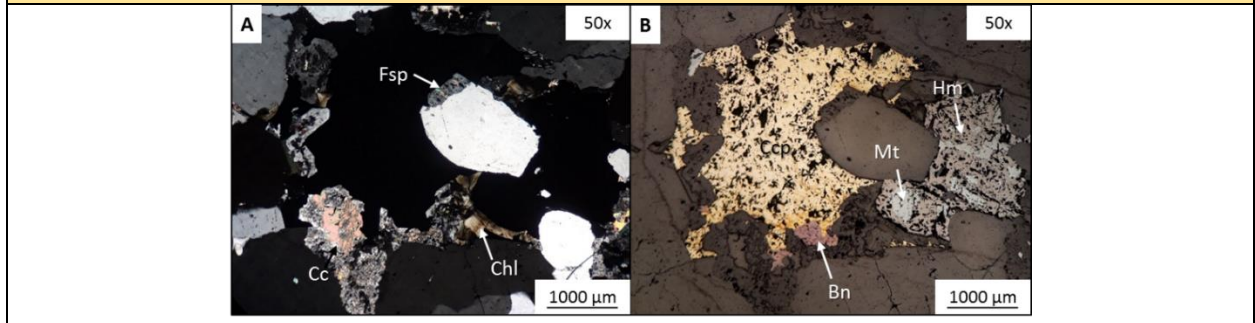
Minerales de alteración	Características	%
Clorita	Agregado microcristalino radial reconocido en cúmulos y parches implantados en la masa fundamental, como constituyente de vetillas de cuarzo junto a anhidrita y minerales metálicos, y como reemplazo total de probables ferromagnesianos.	5
Anhidrita	Cristales euhedrales a subhedrales de 0,1 – 0,8 mm distribuidos heterogéneamente en la masa fundamental y como componente de vetilla alcanzando tamaño de hasta 4 mm en conjunto con minerales metálicos y clorita.	6
Feldespató potásico	Reemplazo metasomático débil de plagioclasas a partir de bordes y debilidades cristalinas.	4
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino como reemplazo parcial en la masa fundamental y como componente principal de las distintas vetillas.	10
Sericita	Agregado microcristalino y fibroso alterando moderada a intensamente cristales de plagioclasa y en la masa fundamental.	10

Arcillas	Material criptocristalino indeterminado diseminado en la masa fundamental y como alteración leve a moderada de cristales de plagioclasa y feldespato potásico.	8
Calcita	Cristales anhedrales de hasta 0,2 mm que ocurren como parches y cúmulos distribuidos heterogéneamente en la masa fundamental y también rellenando espacios abiertos de vetilla gruesa.	2
Biotita secundaria	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,2 mm diseminados en la masa fundamental.	4
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental, como constituyente de vetillas y como impregnaciones en ganga no metálica. Exhibe reemplazo por hematita (martitización) a partir de bordes y zonas de debilidad, además se observa texturas de contacto simple con calcopirita.	2
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental y en vetillas. Comúnmente está reemplazando a magnetita a partir de los bordes y de debilidades cristalinas (martitización). Se observa en contacto simple con calcopirita.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados dentro de la masa fundamental y también formando parte de la vetilla más gruesa. Se asocia con bornita en texturas de reemplazo a partir de los bordes. Se observa en contacto simple con magnetita y hematita.	3
Bornita	Cristales anhedrales diseminados dentro de la masa fundamental y en un volumen subordinado como constituyente de vetillas.	<1
Pirita	Cristales masivos exclusivamente restringidos al evento C3.	<1

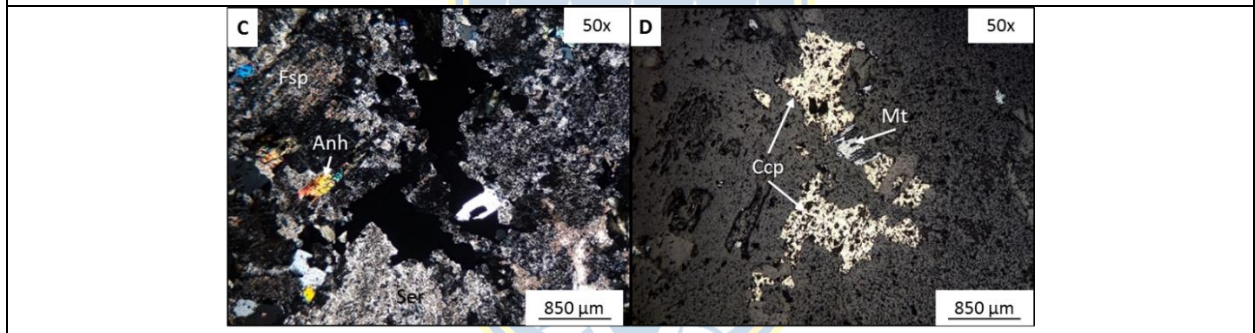
Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz ± anh	Moderada a pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve a moderada	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A2	2 vetillas rectilíneas y continuas. Una más delgada de espesor medio 0,2 mm, y	Qz, anh, fsp, ccp, hm, mt, bn	-

	otra más gruesa de espesor medio 5 mm		
Tipo C3	1 vetilla recta y continua de espesor medio <1 mm	Qz, cc, chl, hm, py	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-15



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Vetilla de cuarzo con anhidrita, clorita, calcita, feldespato potásico y minerales opacos como magnetita, calcopirita bornita y hematita



C (Luz transmitida, NC), D (Luz reflejada, LPP): Masa fundamental compuesta por un reemplazo de cuarzo, feldespato potásico, sericita, anhidrita y minerales metálicos como calcopirita y magnetita.

MUESTRA SM-16
LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD068	600	Pórfido diorítico



Descripción Macroscópica / Microscópica
<p>Roca de color gris oscuro con incipiente magnetismo y textura porfídica compuesta por fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos en una masa fundamental inequigranular moderadamente silicificada, con al menos 2 familias de vetillas tempranas. Cortando la muestra se observa una vetilla de cuarzo tipo A con halo sericítico, y algunas vetillas de composición ineterminado y fragmentos adicionales.</p> <p>Al microscopio se reconoce la textura porfídica representada por fenocristales de plagioclasa intensamente sometidos a la alteración de sericita y arcillas. Además, se tiene un reemplazo dado por agregados de cuarzo secundario, sericita, parches y diseminados de anhidrita, cúmulos de feldespato potásico y diseminados de arcilla y opacos.</p> <p>La muestra se encuentra cortada por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 vetilla de cuarzo fina de 0,3 mm con hematita y magnetita. - 1 vetilla de cuarzo gruesa y rectilínea, de espesor medio 8 mm, con anhidrita, calcopirita, hematita y magnetita. Presenta sutura de reemplazo central por evento posterior compuesto por cuarzo, clorita, calcopirita, especularita y sericita. - 1 vetilla de cuarzo, rectilínea, de espesor medio <1 mm, constituida por anhidrita, feldespato potásico, hematita y magnetita. <p>La alteración se da por un reemplazo moderado a pervasivo de tipo potásico y leve reemplazo por la asociación sericita – clorita.</p> <p>La mineralogía metálica se compone de cristales anhedrales a localmente euhedrales en que se reconoce hematita, calcopirita y magnetita tanto en la masa fundamenta como en sutura de vetilla, e impregnaciones en fenocristales de plagioclasa y relictos de la misma.</p> <p>De acuerdo con el tipo de característica textural y mineralogía primaria parcialmente conservada, esta roca se clasifica como ígnea hipabisal, y composicionalmente como un posible pórfido diorítico.</p>

Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Plagioclasa	Cristales anhedrales a subhedrales de 1 a 2 mm afectados por una fuerte seritización acompañada de material arcilloso, y leve argilización. Presentan parches de anhidrita e impregnaciones de opacos.	27
Indeterminado	Cristales anhedrales de tamaño medio 1,5 mm, están completamente obliterados por sericita y arcillas.	4
Masa fundamental	Características	%
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	14
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	10

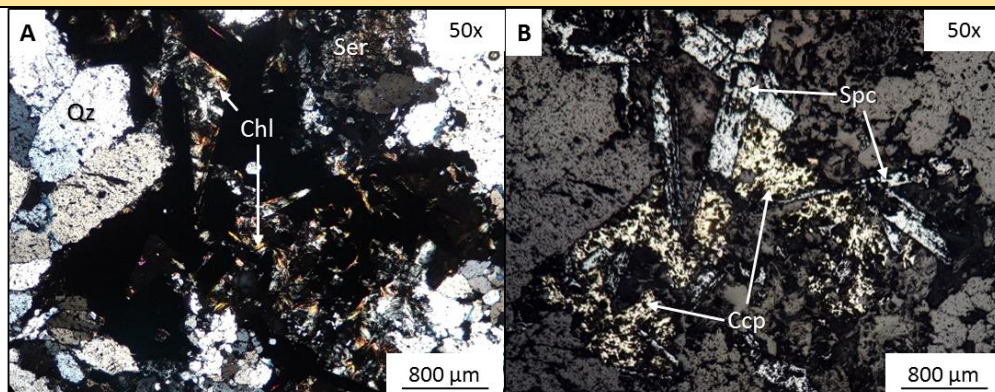
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	13
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	17
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	8
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	4
Opacos	Cristales anhedrales y localmente euhedrales de tamaños de 0,1 a 1,2 mm entre los que se observa magnetita, hematita y calcopirita. Se encuentran distribuidos en la masa fundamental, como impregnaciones en cristales de plagioclasa y como constituyente de vetilla.	3
Fenocristales: 31 %		Masa fundamental: 69 %

Minerales de alteración	Características	%
Feldespato potásico	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,5 mm como reemplazo de la mineralogía primaria en la matriz de la muestra.	14
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado presente en la masa fundamental y asociado a sericita alterando moderadamente fenocristales de plagioclasa.	10
Sericita	Agregado fino y fibroso como alteración pervasiva en fenocristales de plagioclasa y en cúmulos y parches en la masa fundamental.	13
Cuarzo secundario	Agregado policristalino como principal componente en la matriz e importante contenido de las distintas vetillas y fragmentos de vetilla.	17
Anhidrita	Cristales anhedrales a subhedrales que alcanzan tamaños de 0,2 mm presentes como cúmulos y diseminados en la masa fundamental, y como cristales implantados sobre plagioclasa.	8
Clorita	Agregado cristalino acicular y fibroso diseminado en la matriz y como componente de sutura en la vetilla de cuarzo tipo A.	4
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados dentro de la sección, impregnados en algunos fenocristales de plagioclasas y también como componente de vetillas. Presenta textura de contacto simple con hematita y magnetita.	1
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental y como componente de vetillas. Comúnmente se encuentra reemplazando a magnetita desde los bordes o	2

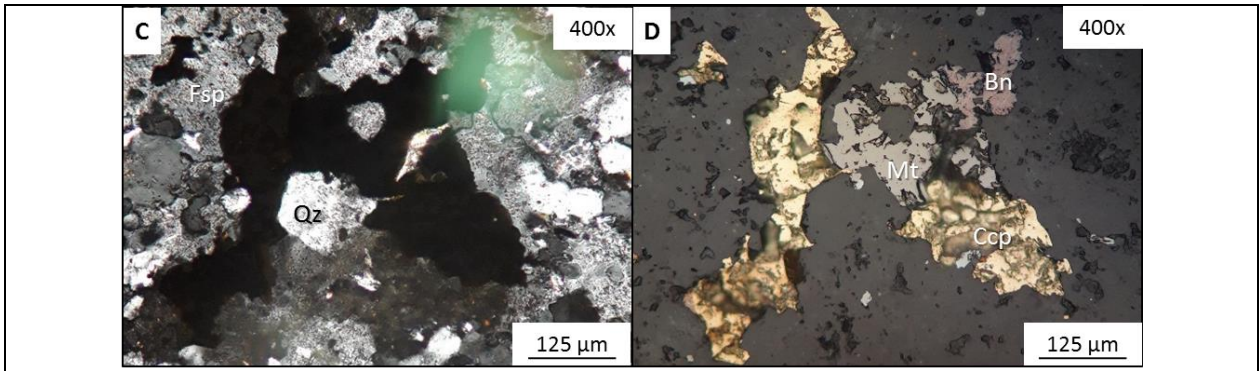
	en debilidades cristalinas (martitización), además se encuentra en contacto simple con calcopirita.	
Bornita	Cristales anhedrales diseminados dentro de la masa fundamental como reemplazo de calcopirita.	<1
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados dentro de la masa fundamental y como constituyente de vetillas. Comúnmente se encuentra siendo reemplazada por hematita desde los bordes o en zonas de debilidad cristalina (martitización) y también, en contacto simple con hematita.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, qz ± anh	Moderada a pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve a moderada	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo M	Vetilla de espesor medio 0,3 mm, sinuosa y discontinua	Hm, mt	Qz
Tipo A1	Vetilla de espesor medio 8 mm, rectilínea y continua	Qz, anh, mt, hm, ccp	-
Tipo A2	Vetilla de espesor medio <1 mm, rectilínea y continua	Qz, fsp, anh, hm, mt	-
Tipo C3	Reutilización central de vetilla A1	Qz, chl, ccp, hm	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-16



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Vetilla de cuarzo tipo C3 principalmente compuesta por sericita, clorita, especularita y calcopirita.



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Masa fundamental con alteración potásica y desarrollo en contacto simple de magnetita, calcopirita y bornita.

MUESTRA SM-17

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-004	428	Pórfido diorítico



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris claro con leve magnetismo y textura aparentemente porfídica constituida por relictos de fenocristales de plagioclasas y ferromagnesianos en una masa fundamental equigranular fina y silicificada. Cortando la muestra se observan vetillas tempranas de cuarzo con hematita y calcopirita, y otras vetillas finas de cuarzo con halo de sericita.

Al microscopio se observa una textura microcristalina aparentemente porfídica pero que ha sido obliterada producto de la alteración. Se ven fenocristales de cuarzo y relictos de probables plagioclasas inmersos en una masa fundamental hipidiomórfica con un fuerte reemplazo dado por anhidrita, biotita secundaria, feldespato potásico y disseminaciones de opacos.

La muestra se encuentra cortada por

- 1 vetilla de cuarzo, de espesor medio 0,5 mm, sinuosa y caracterizada por anhidrita y menor cantidad de magnetita, calcopirita y bornita.
- 1 vetilla gruesa de cuarzo, de espesor medio 10 mm constituida por feldespato potásico, anhidrita, hematita, calcopirita y magnetita. Se observa una sutura central menor con clorita, calcita y pirita.

- 2 vetillas finas de cuarzo, rectilíneas, de espesor medio 1 mm y constituidas por clorita, anhidrita y calcopirita. Se observa halo de sericita.

La alteración se manifiesta por una asociación potásica pervasiva caracterizada por feldespato potásico, anhidrita y biotita secundaria, además de una asociación sericita – clorita leve a moderada.

La mineralización metálica se constituye por cristales anhedrales a euhedrales de tamaños hasta 1 mm entre los que se observan diseminados de hematita, magnetita, calcopirita y bornita en la masa fundamental, pero también como constituyentes de vetillas. Para este último caso, se observan cristales euhedrales de hematita con tamaños de hasta 3 mm asociados a magnetita y calcopirita.

Si bien no se tiene una textura bien preservada, el conjunto de características mineralógicas permite clasificar a la roca como ígnea hipabisal y de probable composición diorítica.

Observación Microscópica		
Fenocristales	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales levemente redondeados de hasta 1 mm diseminados en la masa fundamental.	3
Masa fundamental	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	42
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	6
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	15
Arcilla	Ver mineralogía de alteración.	10
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	8
Biotita Secundaria	Ver mineralogía de alteración.	2
Feldespato secundario	Ver mineralogía de alteración.	7
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	<1
Opacos	Cristales anhedrales de tamaño medio <0,1 mm, caracterizados por la presencia de hematita, magnetita, calcopirita y bornita. Ocurren como componente de vetillas (hematita, magnetita y calcopirita) y diseminaciones distribuidas heterogéneamente en la masa fundamental.	7
Fenocristales: 3 %		Masa fundamental: 97 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado policristalino presente como componente de vetillas y en reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental.	52
Anhidrita	Cristales anhedrales de tamaño hasta 0,3 mm distribuidos heterogéneamente en la masa fundamental, y como componente de las distintas vetillas	5
Sericita	Agregado microcristalino a fibroso en reemplazo de la mineralogía primaria en la masa fundamental asociado a arcillas, y como componente subordinado de vetillas.	15
Arcilla	Material criptocristalino indeterminado que ocurre de manera diseminada distribuyéndose heterogéneamente en la masa fundamental.	8
Clorita	Agregado cristalino fibroso a acicular presente como componente de vetillas.	8
Biotita Secundaria	Cristales anhedrales de hasta 0,3 mm diseminados heterogéneamente en la masa fundamental,	2
Feldespatos secundario	Cristales anhedrales de tamaño medio <1 mm diseminados y en cúmulos dentro de la masa fundamental, reemplazando la mineralogía primaria y como componente de vetilla.	3
Calcita	Cristales anhedrales de tamaño <1 mm restringidos a la vetilla principal	<1
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la masa fundamental, y como componente importante de vetillas (variedad especularita). Se observa en contacto simple con calcopirita y magnetita, y además como reemplazo de magnetita en algunos casos (martitización).	4
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados y como componente importante de vetillas. En algunos casos está reemplazada por hematita (martitización).	2
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental y también como componente de vetillas. Presenta texturas de contacto simple con hematita y magnetita, y un reemplazo local por bornita.	1

Bornita	Cristales anhedrales que se encuentran en la masa fundamental. Se asocian a reemplazo y exsoluciones sobre calcopirita.	<1
---------	---	----

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz ± anh	Moderada a pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve a moderada	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	1 vetilla levemente sinuosa y continua de 0,5 mm de espesor medio	Qz, anh, mt, ccp, bn	-
Tipo A2	1 vetilla recta y continua de espesor medio 10 mm. Sutura central dada por reemplazo de evento C3.	Qz, anh, fsp, mt, ccp	-
Tipo C3	1 reutilización central sobre vetilla tipo A2, y 2 vetillas rectilíneas y continuas de espesor medio 1 mm	Qz, anh, chl, ccp	+Ser

MUESTRA SM-18

LOCALIDAD CERRO CASALE

Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-004	577	Brecha magmático hidrotermal



Descripción Macroscópica / Microscópica

Roca de color gris pardo con leve magnetismo y estructura brechoide, compuesta de fragmentos subredondeados de carácter polimíctico en una matriz afanítica que a la vez soporta dichos clastos y se encuentra fuertemente alterada por un cemento feldespático.

Al microscopio se reconoce una textura micro fanerítica constituida por escasos fenocristales de cuarzo y algunos fragmentos cuya textura ha sido obliterada, imposibilitando su clasificación. Estos se encuentran inmersos en una matriz compuesta de un agregado de cuarzo secundario, feldespato potásico, sericita, anhidrita, biotita secundaria, clorita, calcita, arcillas y minerales metálicos.

Cortando la muestra se observan:

- 3 vetillas rectilíneas de cuarzo pero que han sufrido desplazamiento, con un espesor medio de 6 mm, compuestas por anhidrita, clorita, sericita, feldespato potásico y minerales metálicos (calcopirita, magnetita, hematita y bornita).

La alteración se compone de un intenso reemplazo dado por feldespato potásico, cuarzo secundario, biotita secundaria, anhidrita y arcillas. La mineralización se completa con una incipiente presencia de sericita y clorita como constituyente de la matriz y localmente en vetillas.

La mineralización metálica se compone de cristales anhedrales a subhedrales de tamaños variados desde <0,1 mm a 1,8 mm, con calcopirita, magnetita, hematita y bornita. Estos se reconocen como diseminaciones distribuidas homogéneamente en la matriz y también como parte de las vetillas.

Dada la heterogeneidad de constituyentes identificados a escala macroscópica, así como de las características mineralógicas, texturales y composicionales de la matriz, se concluye un claro origen volcánico que composicional y estructuralmente clasifica a esta roca como una brecha del tipo magmático hidrotermal.

Observación Microscópica		
Fragmentos	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,8 mm distribuidos heterogéneamente en la matriz.	1
Indeterminado A	Localmente se trata de clasto subredondeado cuya textura original ha sido completamente obliterada por lo que no puede ser clasificado. Se observa total biotitización.	1
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	35
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	8
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	16
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	25
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	1
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	5

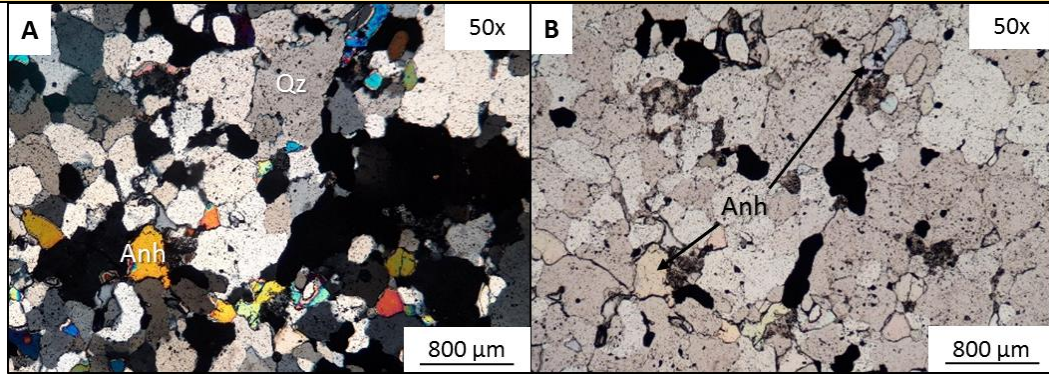
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	<1
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	6
Opacos	Cristales anhedrales de tamaños variados desde <0,1 mm hasta 1,8 mm caracterizados por la presencia de calcopirita, magnetita, hematita y bornita. Estos ocurren como componente de las distintas vetillas y como diseminaciones distribuidas homogéneamente en la matriz.	2
Fragmentos: 2 %		Matriz: 98 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino como reemplazo en la matriz asociado a feldespato potásico.	35
Anhidrita	Cristales anhedrales de tamaños que en ocasiones alcanzan los 0,4 mm y se presentan como parches y agregados cumulares dentro de la matriz junto con feldespato potásico, biotitas secundarias y cuarzo secundario, y además como constituyente de las vetillas en conjunto con minerales metálicos.	8
Biotita secundaria	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,1 mm reconocidos como parches y cúmulos distribuidos homogéneamente en la matriz de la muestra, asociado a feldespato potásico, anhidrita y minerales metálicos. Además, se observa en reemplazo de probables ferromagnesianos preexistentes, dando origen a pseudomorfos prismáticos de tamaño medio 0,5 mm.	16
Feldespato potásico	Cristales anhedrales de tamaño medio <0,1 mm presentes como un reemplazo de la mineralogía primaria en la matriz de la muestra, asociado a cuarzo secundario. También se observa localmente en vetillas.	25
Clorita	Cristales anhedrales a fibrosos presentes como parches dentro de la muestra y de forma subordinada dentro de las vetillas.	1
Sericita	Agregado microcristalino reconocido como reemplazo de la mineralogía primaria en la matriz de la muestra y como alteración incipiente de algunos feldespatos potásicos presentes en las vetillas.	5

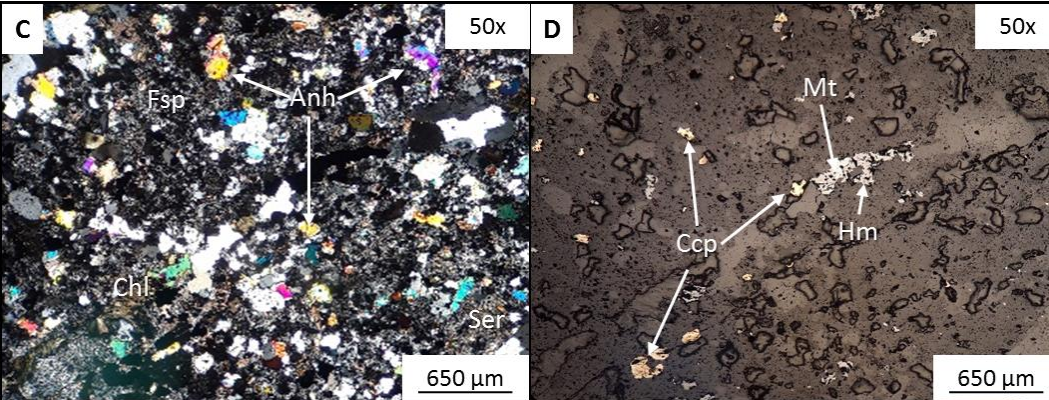
Calcita	Cristales anhedrales sobre vetillas de cuarzo, asociados a anhidrita y clorita	<1
Arcillas	Material criptocristalino indeterminado presente como disseminaciones distribuidas homogéneamente por toda la matriz de la muestra. Se observa como reemplazo parcial de fragmentos indeterminados y como alteración moderada de cristales de feldespato potásico.	6
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Calcopirita	Cristales anhedrales presentes como disseminaciones dentro de la matriz y también como componente importante de las vetillas. En ocasiones se asocian a bornita en texturas de contacto simple y reemplazada por bornita. Además, localmente se observa en contacto simple con magnetita y bornita.	1
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales disseminados en la matriz y como constituyente de las vetillas. Exhibe reemplazo por hematita ocasionalmente y además se encuentra con texturas de contacto simple con calcopirita y bornita.	1
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales disseminados en la matriz. Frecuentemente se observa como reemplazo de magnetita a partir de bordes o debilidades (martitización).	<1
Bornita	Cristales anhedrales asociados a calcopirita en su mayoría tanto en matriz como en vetilla, y localmente en contacto simple con magnetita en la matriz.	<1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz ± anh	Pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A2	3 vetillas levemente sinuosas y continuas de 6 mm de espesor medio	Qz, anh, fsp, ccp, mt, hm, bn	-

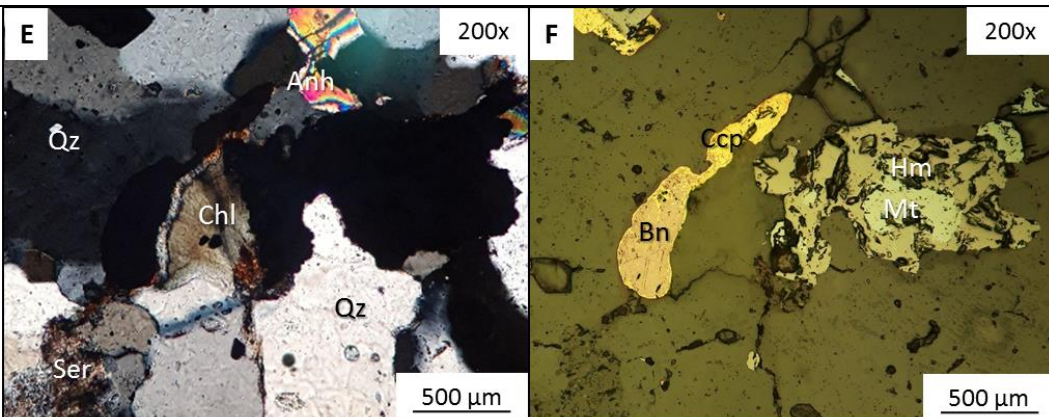
MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-18




A (Luz transmitida, NC), B (Luz transmitida, LPP): Vetilla gruesa de cuarzo, compuesta por anhidrita, feldespato potásico y minerales opacos (bornita, calcopirita, magnetita y hematita).



C (Luz transmitida, NC), D (Luz reflejada, LPP): Representación de la alteración en la matriz, con importante alteración potásica caracterizada por feldespato potásico, cuarzo, sericita y clorita, además de fragmentos de vetillas de cuarzo con diseminados opacos como calcopirita, magnetita y hematita.



E (Luz transmitida, NC), F (Luz reflejada, LPP): Vetilla de cuarzo tipo A2, con clorita, anhidrita, sericita y relleno de espacios abiertos compuestos de magnetita (martitizada), hematita, calcopirita y bornita como reemplazo de esta última.

MUESTRA SM-19		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBD027	432	Brecha magmático hidrotermal
		
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris pardo con tonos rosa, un leve magnetismo y estructura brechoide, compuesta de fragmentos subredondeados de carácter polimíctico en una matriz afanítica que a la vez soporta dichos clastos y se encuentra fuertemente alterada por un cemento feldespatico.</p> <p>Al microscopio se reconoce una textura porfídica dada por escasos fenocristales de plagioclasa intensamente argilizados, y algunos fragmentos cuya textura ha sido obliterada y no es posible clasificarlos. Estos se encuentran inmersos en una matriz compuesta de un agregado de cuarzo secundario, feldespato potásico, biotita secundaria, sericita, anhidrita, clorita, arcillas y minerales metálicos.</p> <p>Cortando la muestra se observan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 vetilla de cuarzo, ectilínea y discontinua, de espesor medio 1,5 mm y con minerales metálicos como hematita, calcopirita y bornita. - 1 vetilla de cuarzo levemente sinuosa y continua, de espesor medio de 2cm, compuestas por anhidrita, feldespato potásico, calcopirita, magnetita, hematita y bornita. Ha sufrido reutilización por evento posterior tipo C3 con calcita, clorita, especularita y calcopirita. - 1 vetilla fina de cuarzo, rectilínea y de espesor medio 2,5 mm. Contiene anhidrita, clorita, calcopirita, magnetita, hematita y bornita. <p>La alteración se compone de un intenso reemplazo por feldespato potásico, cuarzo secundario, biotita secundaria, anhidrita y arcillas. La mineralización se completa con una incipiente presencia de sericita y clorita como constituyente de la matriz y en menor medida en vetilla.</p> <p>La mineralización metálica se compone de cristales anhedrales a subhedrales de tamaños variados desde <0,1 mm hasta 2 mm, caracterizados por la presencia de calcopirita, magnetita, hematita y bornita. Estos se reconocen como disseminaciones distribuidas homogéneamente en la matriz y también como parte de las vetillas y sutura de estas.</p> <p>Dada la heterogeneidad de constituyentes identificados a escala macroscópica, así como de las características mineralógicas, texturales y composicionales de la matriz, se concluye un claro</p>		

origen volcánico que composicional y estructuralmente clasifica a esta roca como una brecha del tipo magmático hidrotermal.

Observación Microscópica		
Fragmentos	Características	%
Plagioclasa	Cristales subhedrales de hábito tabular y tamaño entre 0,5 a 1,5 mm. Exhiben intensa alteración por arcilla. En algunos casos presenta impregnaciones de magnetita.	15
Indeterminado "A"	Clastos subangulares cuya textura original ha sido completamente obliterada. Se observan argilizados y biotitizados.	2
Matriz/Cemento	Características	%
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	43
Feldespatos potásico	Ver mineralogía de alteración.	15
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración.	8
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	1
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	2
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	5
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	6
Opacos	Cristales anhedrales de tamaños variados desde <0,1 mm hasta 2 mm caracterizados por la presencia de calcopirita, magnetita, hematita y bornita. Estos ocurren como componente de las distintas vetillas y sutura de una de ellas, y como diseminaciones distribuidas homogéneamente en la matriz.	3
Fragmentos: 17 %		Matriz: 83 %

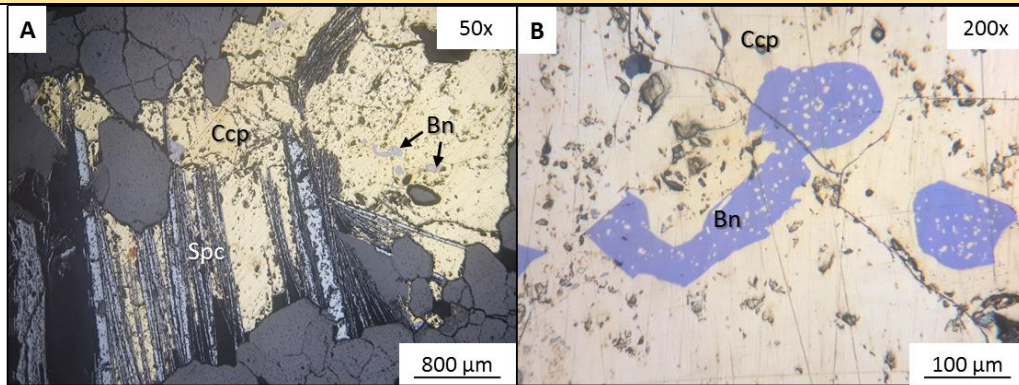
Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado poli a microcristalino como reemplazo en la matriz asociado a feldespatos potásico.	43
Feldespatos potásico	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,1 mm presentes como un reemplazo de la mineralogía primaria en la matriz de la muestra, asociado a cuarzo secundario. Localmente se observa en las vetillas.	15

Biotita secundaria	Cristales anhedrales de tamaño medio 0,1 mm reconocidos como parches y cúmulos distribuidos homogéneamente en la matriz de la muestra, asociado a feldespatos potásicos, anhidrita y minerales metálicos. Además, se observa en reemplazo de probables ferromagnesianos preexistentes, dando origen a pseudomorfos prismáticos de tamaño medio 0,5 mm y alterando a clastos indeterminados junto con sericita.	8
Clorita	Cristales anhedrales a fibrosos presentes como parches y cúmulos dentro de la matriz, además se observa de forma subordinada rellenando espacios dentro de las vetillas.	1
Anhidrita	Cristales anhedrales de tamaños variados hasta los 0,4 mm, presentes como parches y agregados cumulares dentro de la matriz junto con feldespatos potásicos, biotita secundaria y cuarzo secundario, y además como constituyente de las vetillas de cuarzo en conjunto con minerales metálicos.	2
Sericita	Agregado microcristalino reconocido como componente del reemplazo de la mineralogía primaria en la matriz de la muestra y como alteración leve a moderada de feldespatos potásicos y clastos indeterminados junto a biotita secundaria.	5
Arcillas	Material criptocristalino indeterminado presente como diseminado distribuido homogéneamente por toda la matriz de la muestra y en vetillas. Se observa como reemplazo parcial de fragmentos indeterminados y como alteración moderada de cristales de feldespatos potásicos.	6
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Calcopirita	Cristales anhedrales presentes como diseminaciones dentro de la matriz y también como componente importante de vetillas de cuarzo junto con hematita (tabular). Además, se observan texturas de reemplazo por bornita y de contacto simple con magnetita y hematita.	2
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados en la matriz y como constituyente de las vetillas. Exhibe reemplazo por hematita ocasionalmente y además se encuentra con texturas de contacto simple con calcopirita y bornita.	<1
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales (tabular) diseminados en la matriz y como componente de vetillas y de la sutura de una de ellas junto con calcopirita. En la matriz se observa como reemplazo de magnetita a partir de bordes o debilidades	1

	(martitización). Se observan texturas de contacto simple con calcopirita y magnetita.	
Bornita	Cristales anhedrales asociados a calcopirita en su mayoría tanto en la matriz como en vetilla, y localmente en contacto simple con magnetita y hematita.	Tr

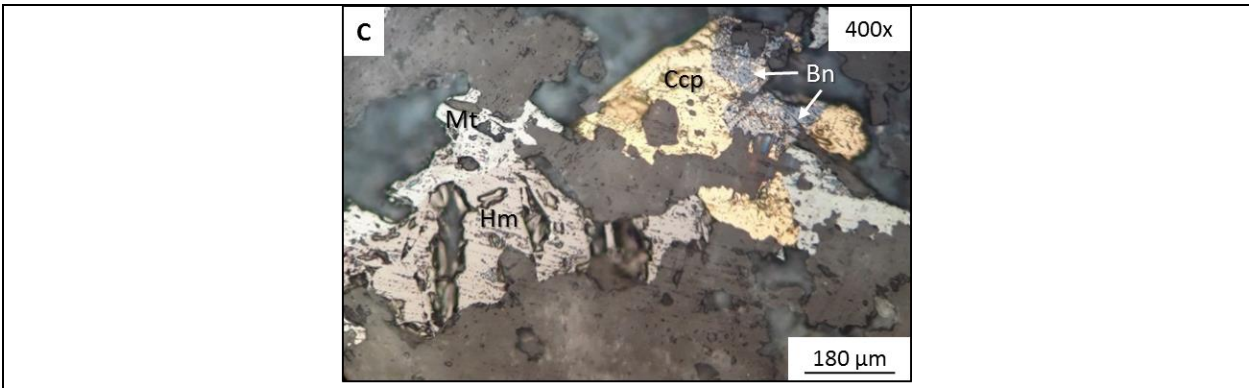
Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz ± anh	Pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	1 vetilla rectilínea y discontinua de espesor medio 1,5 mm	Qz, hm, ccp, bn	-
Tipo A2	1 vetilla levemente sinuosa y continua de 20 mm de espesor medio y 1 vetilla recta y continua de espesor 2,5 mm	Qz, anh, fsp, ccp, mt, hm, bn	-
Tipo C3	Reutilización central de vetillas tipo A2	Qz, cc, chl, hm (especularita), ccp	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-19



A (Luz reflejada, LPP): Sutura polimetálica de calcopirita, bornita y hematita tabular (Espicularita).

B (Luz reflejada, LPP): Blebs de calcopirita (textura de exolución) en bornita.



C (Luz reflejada, LPP): Desarrollo de minerales metálicos intercrecidos entre sí, se observa magnetita con reemplazo parcial de hematita (martitización), y calcopirita parcialmente alterada a bornita.

MUESTRA SM-20		
LOCALIDAD CERRO CASALE		
Pozo	Profundidad (m)	Clasificación
CBDDH-007	1355	Probable roca volcanoclástica
Descripción Macroscópica / Microscópica		
<p>Roca de color gris oscuro con tonos pardo y un incipiente magnetismo. Presenta una textura conglomerádica compuesta por fragmentos subredondeados de origen volcánico y otros aparentemente intrusivos inmersos en una matriz afanítica.</p> <p>Al microscopio se observa una textura original clástica del tipo conglomerádica constituida por ferromagnesianos y fragmentos líticos cuya textura original se encuentra obliterada. Están inmersos en una matriz compuesta por un agregado masivo de cuarzo secundario, sericita, feldespato potásico, anhidrita, biotita secundaria, clorita, calcita y minerales metálicos.</p> <p>Cortando la muestra se observa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 vetilla de cuarzo fina y rectilínea de espesor medio 1 mm compuesta principalmente por anhidrita y muy pocos minerales metálicos (calcopirita, hematita, magnetita). - 1 vetilla de cuarzo fina y rectilínea de espesor medio 0,5 mm. Compuesta por feldespato potásico, anhidrita calcopirita y bornita. Se observa una reutilización dada por un evento posterior que involucra clorita, calcita y sericita. 		

La alteración se compone de un intenso metasomatismo potásico y moderado reemplazo dado por la asociación sericita – clorita.

La mineralogía metálica se encuentra constituida de cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,1 mm, caracterizados por la presencia de magnetita, hematita, calcopirita y bornita. Se reconocen como disseminaciones distribuidas homogéneamente en la matriz y en fragmentos líticos, y también como componente de las vetillas.

Dada la heterogeneidad en los constituyentes clásticos observados a escala macroscópica, así como también de las características mineralógicas y texturales dentro de la matriz a escala microscópica, es posible que esta muestra tenga un origen volcanoclástico.

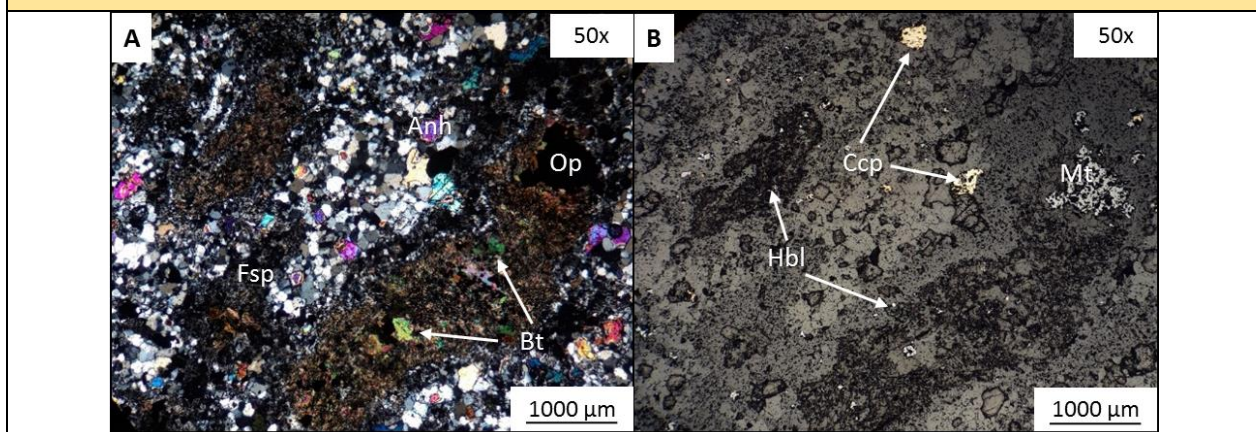
Observación Microscópica		
Líticos/cristales	Características	%
Fragmento "A"	Fragmentos subredondeados de tamaño variable entre 1 y 3 mm cuya textura original se encuentra obliterada por un agregado de cuarzo secundario con parches de anhidrita, arcillas y sericita.	2
Hornblenda	Cristales subhedrales de hábito prismático y tamaño medio 3 mm. Presentan biotitización pervasiva y leve sericitización junto con impregnaciones de minerales opacos.	2
Matriz	Características	%
Cuarzo	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaño medio 0,3 mm, reconocidos como relictos de mineralogía primaria.	2
Cuarzo secundario	Ver mineralogía de alteración.	50
Feldespato potásico	Ver mineralogía de alteración.	7
Calcita	Ver mineralogía de alteración.	2
Sericita	Ver mineralogía de alteración.	5
Arcillas	Ver mineralogía de alteración.	9
Clorita	Ver mineralogía de alteración.	3
Anhidrita	Ver mineralogía de alteración.	6
Biotita secundaria	Ver mineralogía de alteración	5
Opacos	Cristales anhedrales a subhedrales de tamaños hasta 0,4 mm de magnetita, hematita, calcopirita y bornita.	7
Fragmentos: 4 %		Matriz: 96 %

Minerales de alteración	Características	%
Cuarzo secundario	Agregado micro a policristalino que se encuentra como reemplazo total a parcial de ambos tipos de fragmentos líticos.	50
Feldespato potásico	Cristales anhedrales presentes como reemplazo de la mineralogía primaria de fragmentos líticos "B". Asociado a biotita secundaria y cuarzo secundario.	7
Calcita	Cristales anhedrales que se presentan como parches dentro de la matriz.	2
Sericita	Agregado microcristalino de aspecto fibroso presente en cúmulos y diseminados en la matriz. Como también formando parte de vetillas de cuarzo.	5
Arcillas	Material criptocristalino indeterminado que ocurre como componente de la matriz en conjunto con sericita, cuarzo secundario, clorita y calcitas, alterando a fragmentos líticos "B" y en menor medida, en vetillas alterando a feldespatos.	9
Clorita	Agregado microcristalino a fibroso reconocido como parches y cúmulos dentro de la matriz.	3
Anhidrita	Cristales anhedrales de tamaños hasta 0,2 mm presentes como parches y agregados cumulares dentro de la matriz, como constituyente de las distintas vetillas de cuarzo y en fragmentos líticos "A" y de hornblenda en forma de parches.	6
Biotita secundaria	Cristales anhedrales reconocidos como parches y agregados cumulares distribuidos heterogéneamente en la matriz, y como reemplazo de hornblenda.	5
Minerales opacos	Características/Ocurrencia	%
Magnetita	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados dentro de la sección, como impregnaciones en fragmentos líticos y como constituyente subordinado de las distintas vetillas. Comúnmente se encuentra reemplazado por hematita en zonas de debilidad cristalina y hacia los bordes (martitización). Se observa en contacto simple con calcopirita.	2
Hematita	Cristales anhedrales a subhedrales de hábito tabular. Ocurren como diseminaciones dentro de la sección, localmente en algunas vetillas y en reemplazo de magnetita y también en contacto simple con calcopirita y bornita.	1
Calcopirita	Cristales anhedrales diseminados dentro de la sección y también como componente de algunas vetillas. Presenta	2

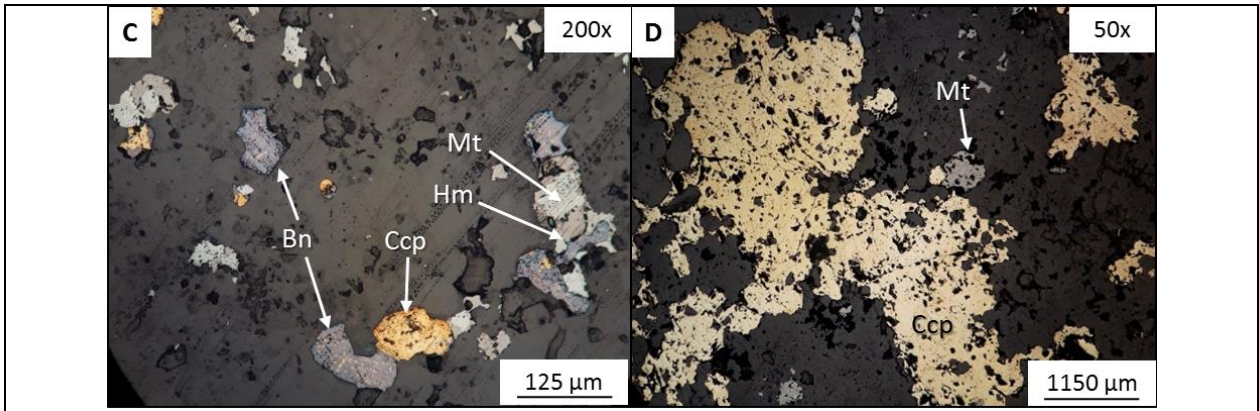
	texturas de contacto simple con hematita y magnetita, además se encuentra en contacto simple con bornita y siendo reemplazada hacia los bordes por la misma.	
Bornita	Cristales anhedrales asociados a calcopirita tanto en la matriz como en vetillas. Localmente se observa contacto simple con magnetita y hematita.	1

Alteración	Mineralogía	Intensidad	
Potásica	Fsp, bt, qz ± anh	Pervasiva	
Sericita - Clorita	Chl, ser, qz ± cc, arcillas amorfas	Leve	
Vetilla	Características	Relleno	Halo
Tipo A1	1 vetilla rectilínea y continua de espesor medio 1 mm	Qz, anh, ccp, hm, mt	-
Tipo A2	Vetilla rectilínea y continua de espesor medio 0,5 mm	Qz, fsp, anh, ccp, bn	-
Tipo C3	Reutilización de vetilla tipo A2.	Qz, chl, cc, ccp, bn	Ser

MICROFOTOGRAFÍAS MUESTRA SM-20



A (Luz transmitida, NC), B (Luz reflejada, LPP): Fenocristales de hornblenda intensamente biotitizados. Se observa magnetita como impregnación de uno de ellos y calcopirita diseminada en la matriz.



C (Luz reflejada, LPP): Matriz de la muestra con diseminados metálicos (bn, mt, hm, ccp).

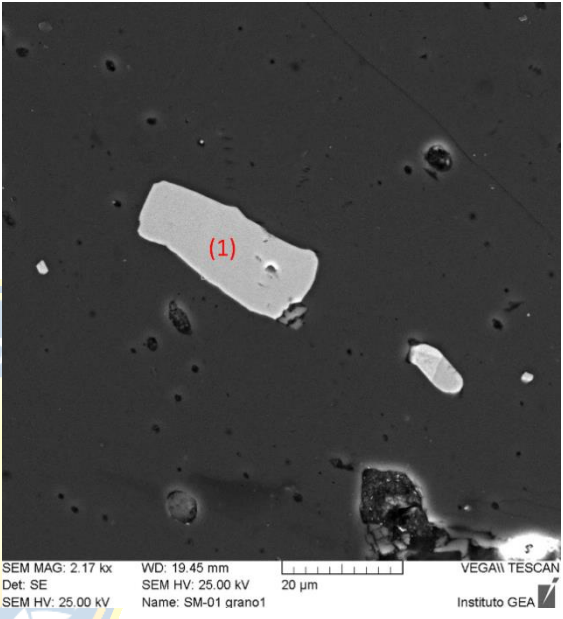
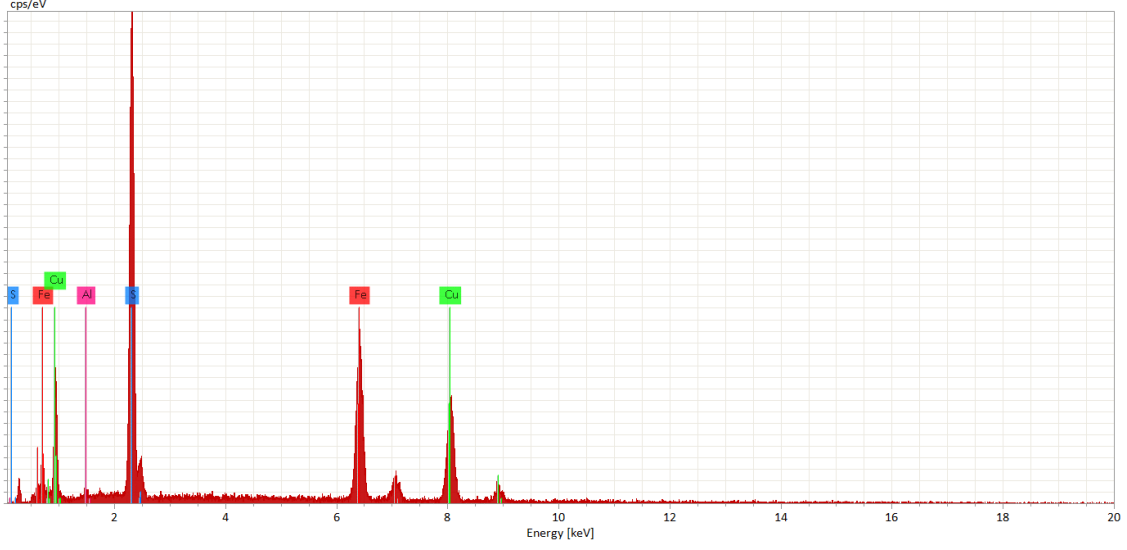
D (Luz reflejada, LPP): Matriz cúmulos de calcopirita asociado a diseminados de magnetita.





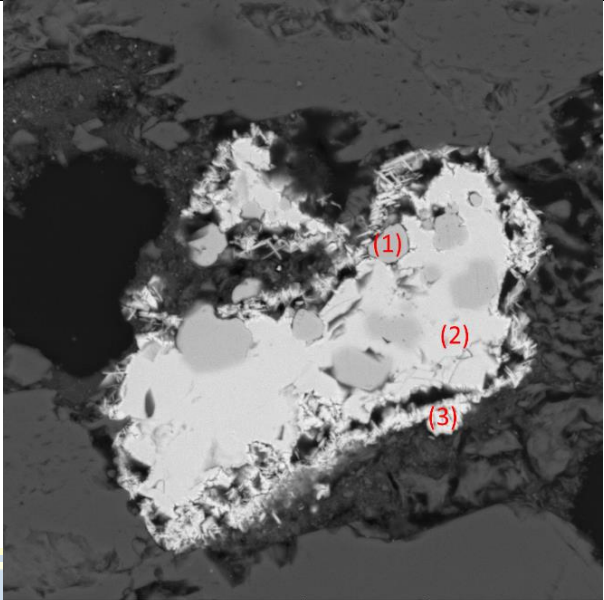
RESULTADOS MUESTRAS ANALIZADAS POR MÉTODO SEM-EDS

A continuación, se presenta un resumen para cada caso de estudio, su respectiva caracterización mineral y el diagrama composicional correspondiente a dicha fase.

MUESTRA SM-01-1			
LOCALIDAD CERRO CASALE			
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	CuFeS_2	
Diagrama de Composición Elemental			
1			

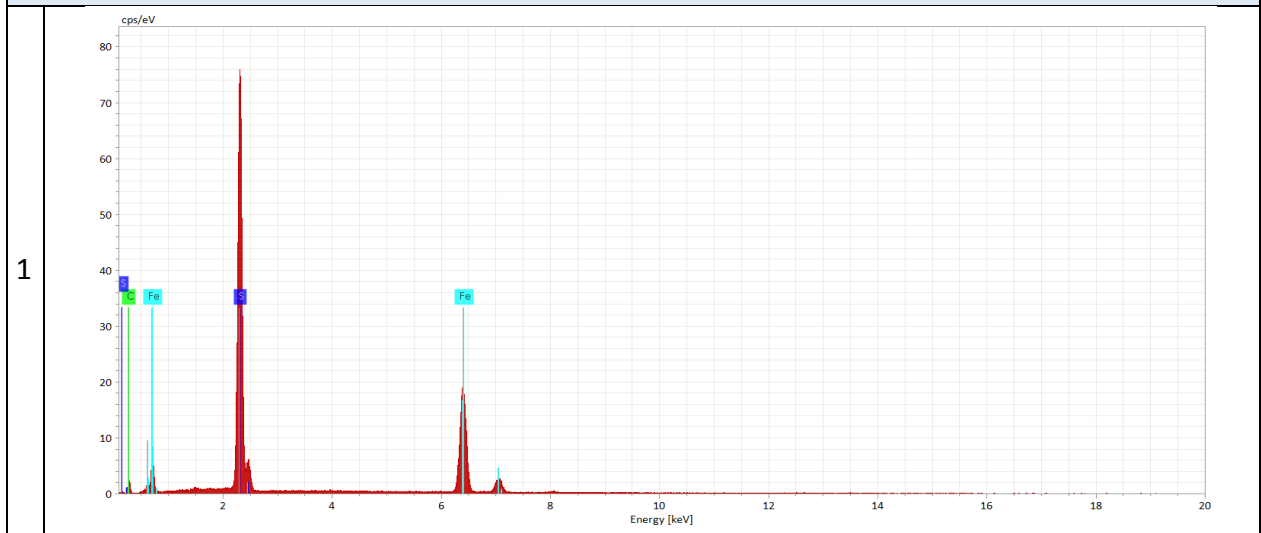
MUESTRA SM-03-1

LOCALIDAD CERRO CASALE

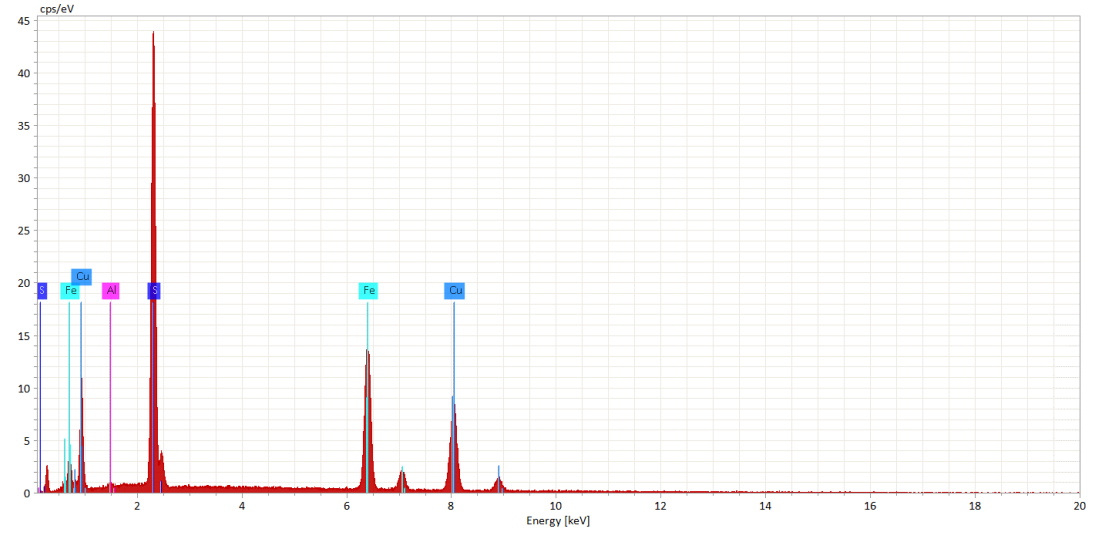
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS_2	
2	Calcopirita	$CuFeS_2$	
3	Covelina	CuS	

SEM MAG: 2.11 kx WD: 19.66 mm VEGAII TESCAN
 Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 20 µm
 SEM HV: 25.00 kV Name: SM03-grano1 Instituto GEA

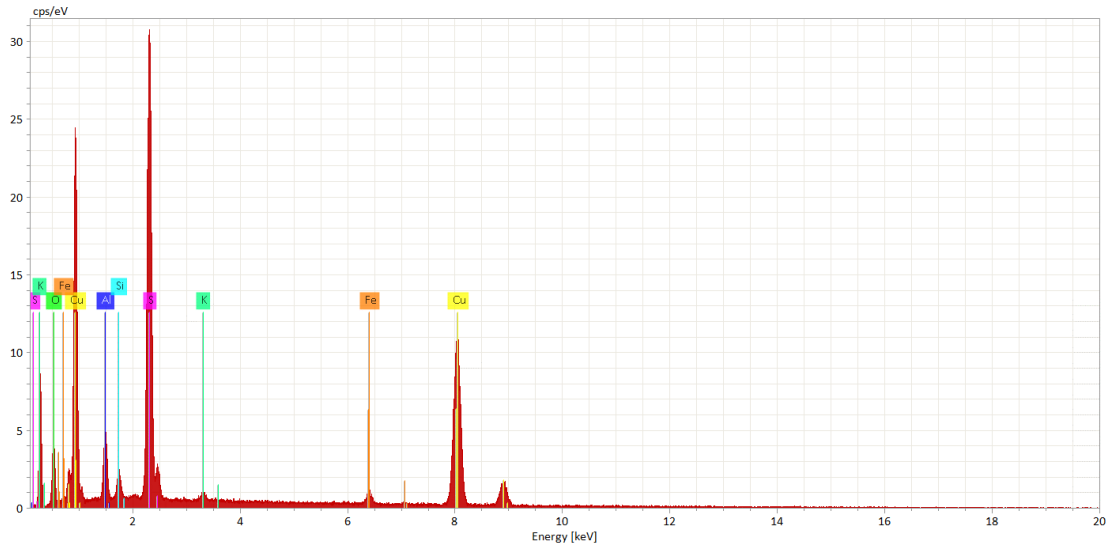
Diagrama de Composición Elemental



2



3



MUESTRA SM-03-2
 LOCALIDAD CERRO CASALE

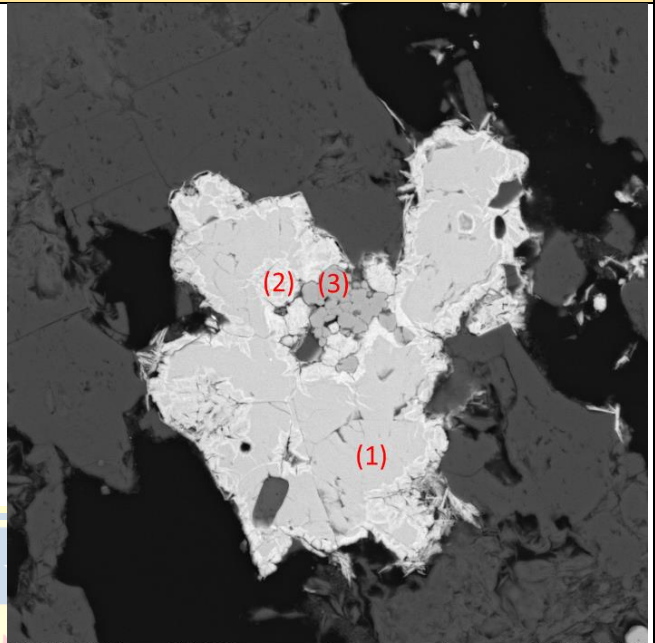
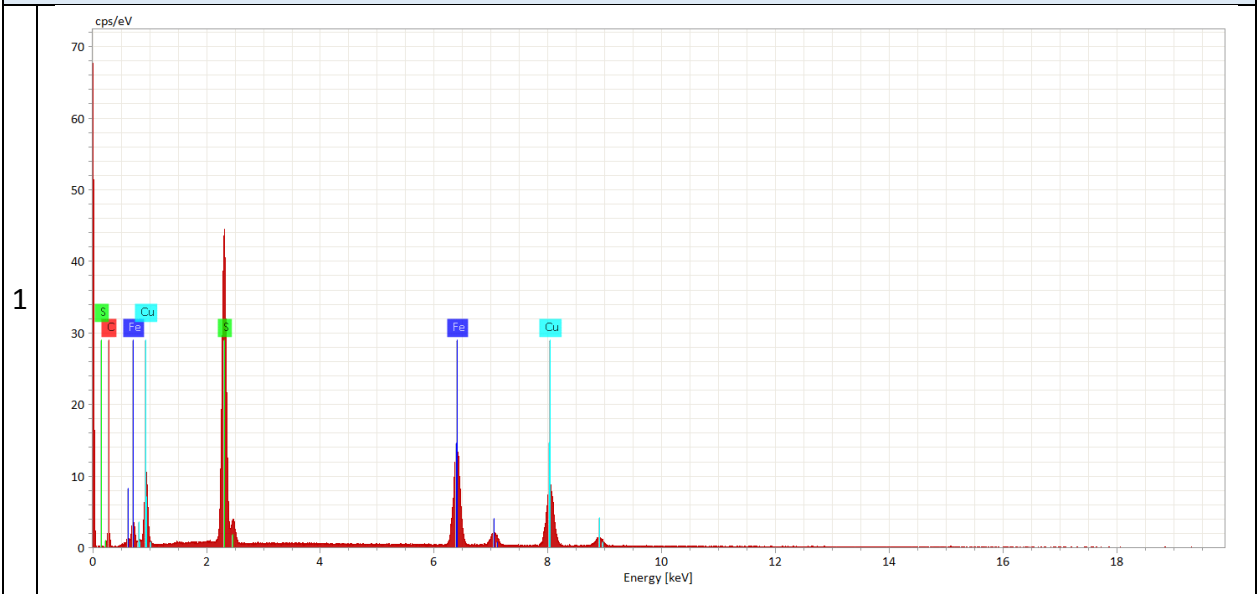
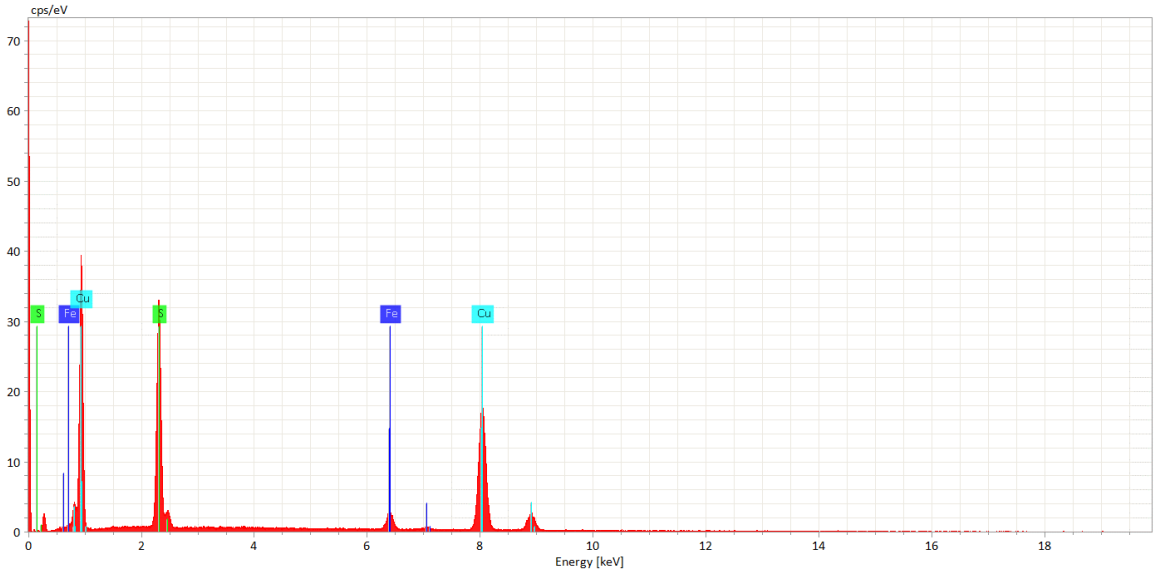
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	$CuFeS_2$	 <p>SEM MAG: 1.82 kx WD: 20.27 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 20 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM03-grano2</p> <p>VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>
2	Pirita	FeS_2	
3	Covelina	CuS	

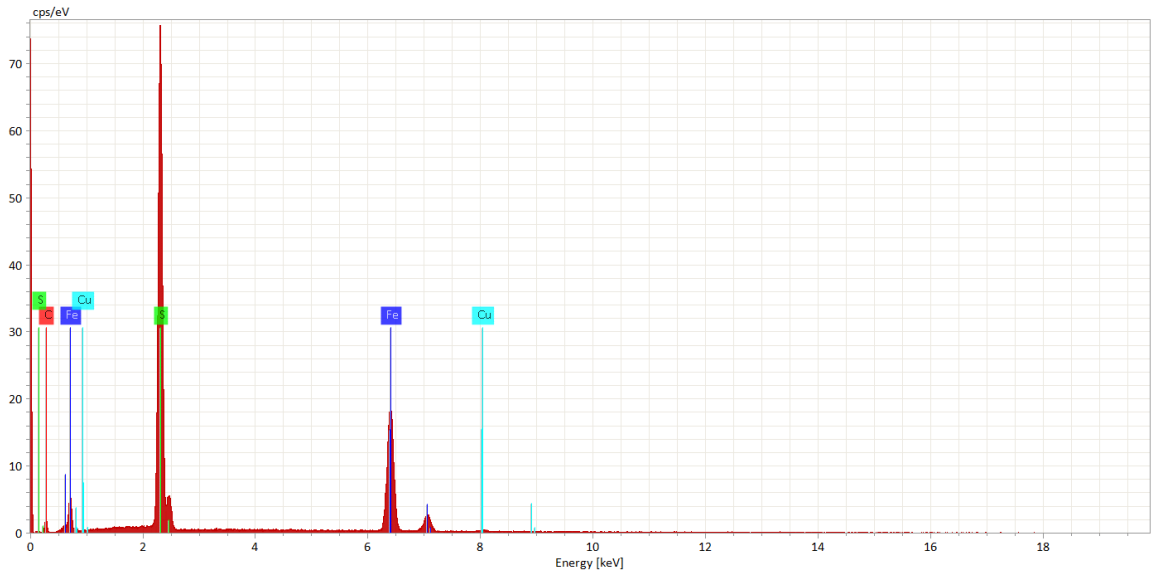
Diagrama de Composición Elemental



2



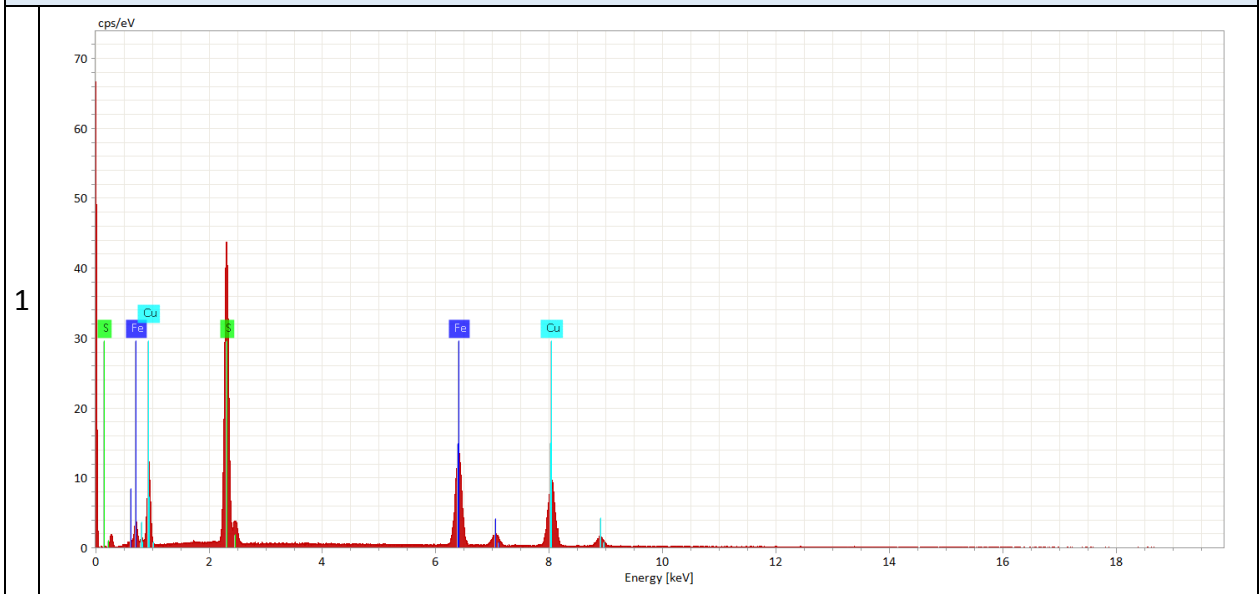
3



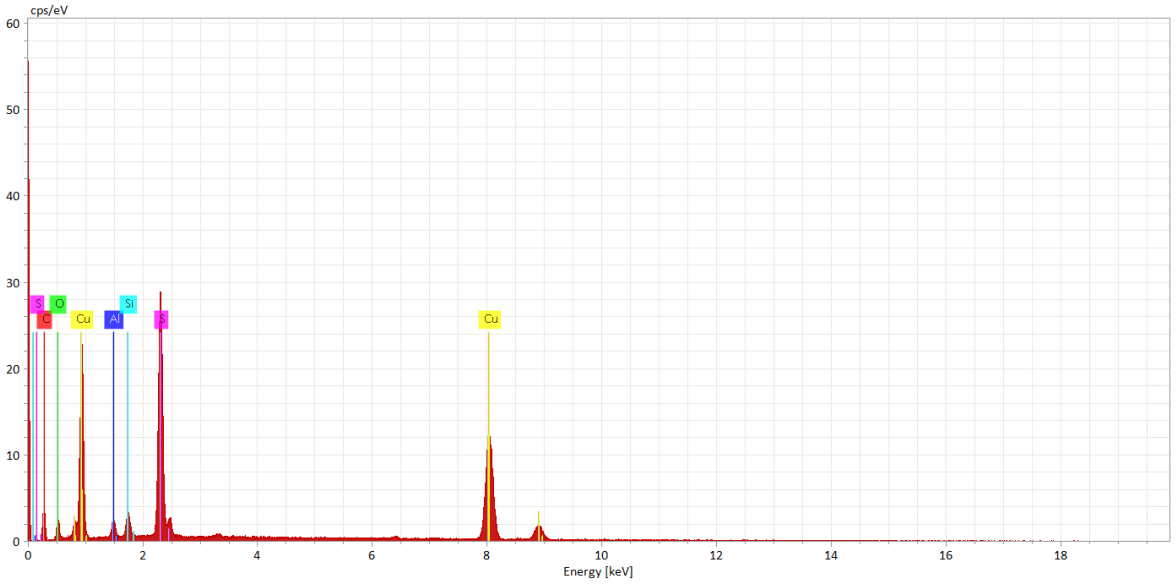
MUESTRA SM-03-3
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	$CuFeS_2$	
2	Covelina	CuS	
3	Covelina	CuS	

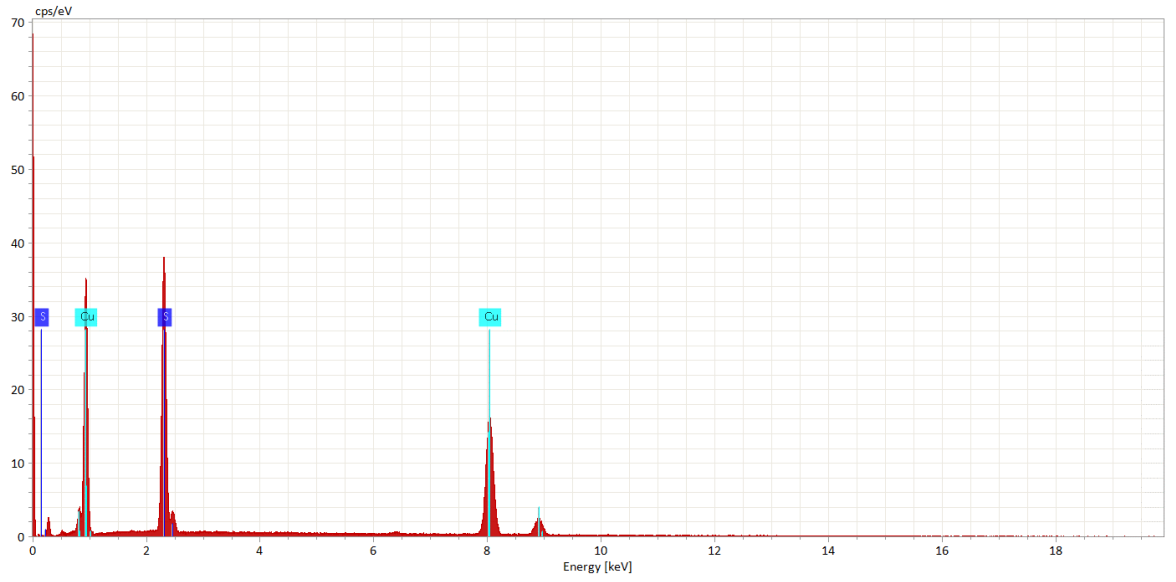
Diagrama de Composición Elemental



2



3



MUESTRA SM-03-4
LOCALIDAD CERRO CASALE

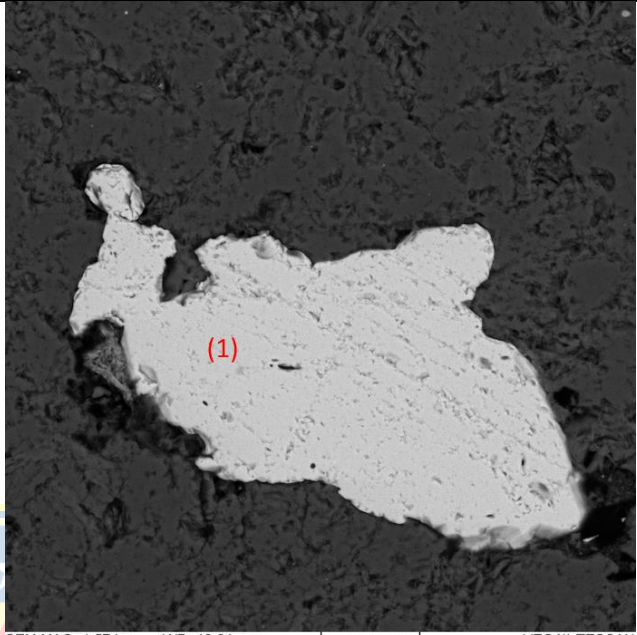
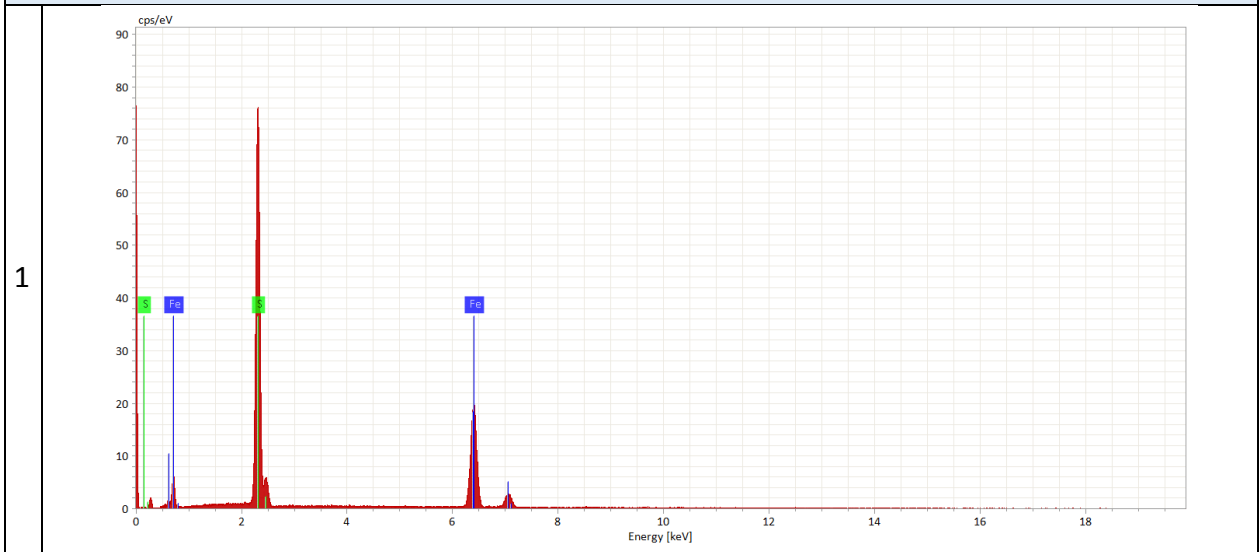
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	 <p>SEM MAG: 1.57 kx WD: 19.64 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM03-grano4</p> <p>VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p> <p>20 µm</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-05-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

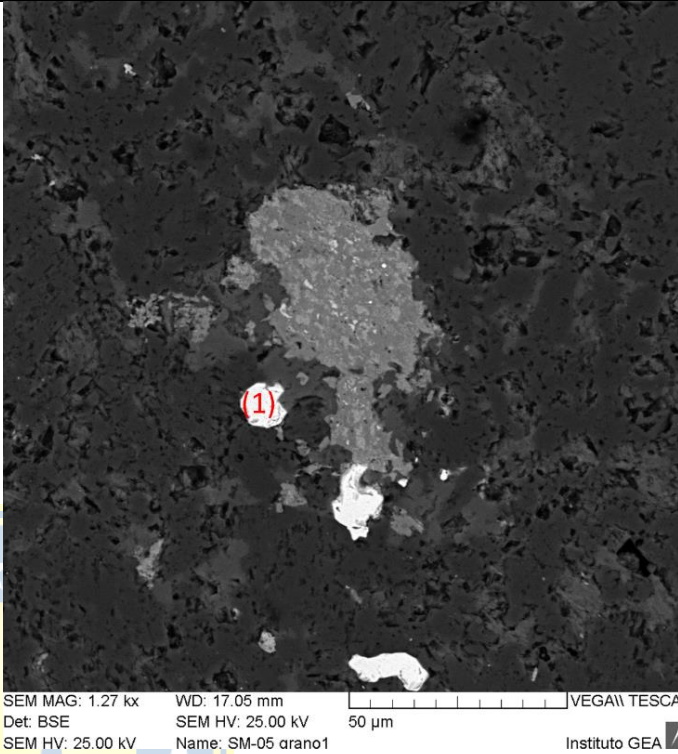
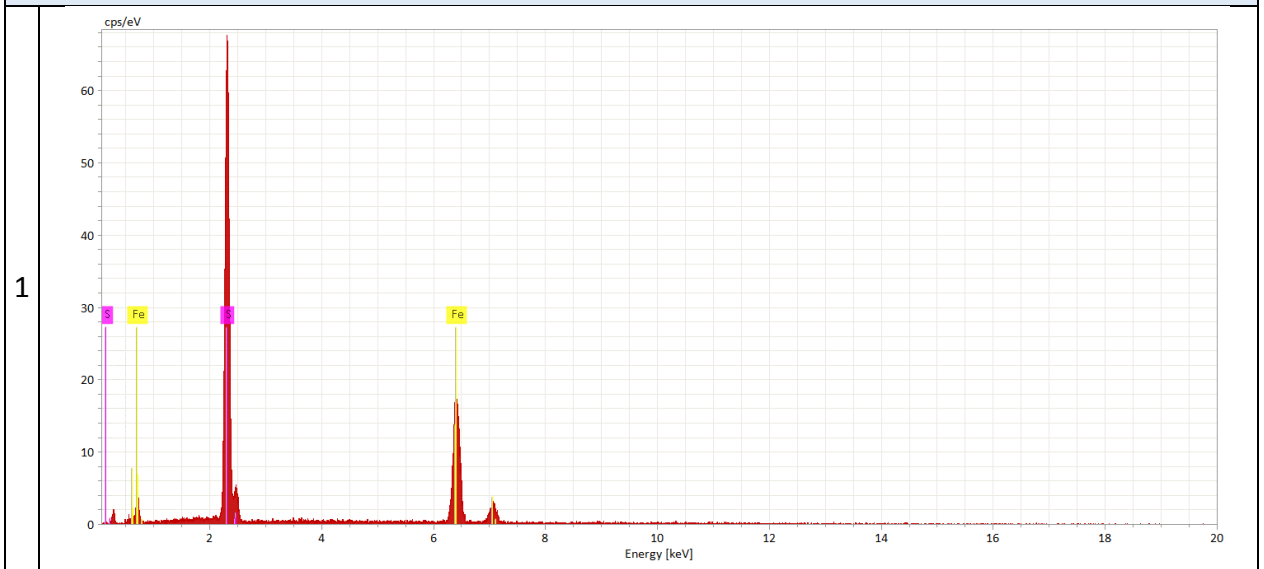
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	

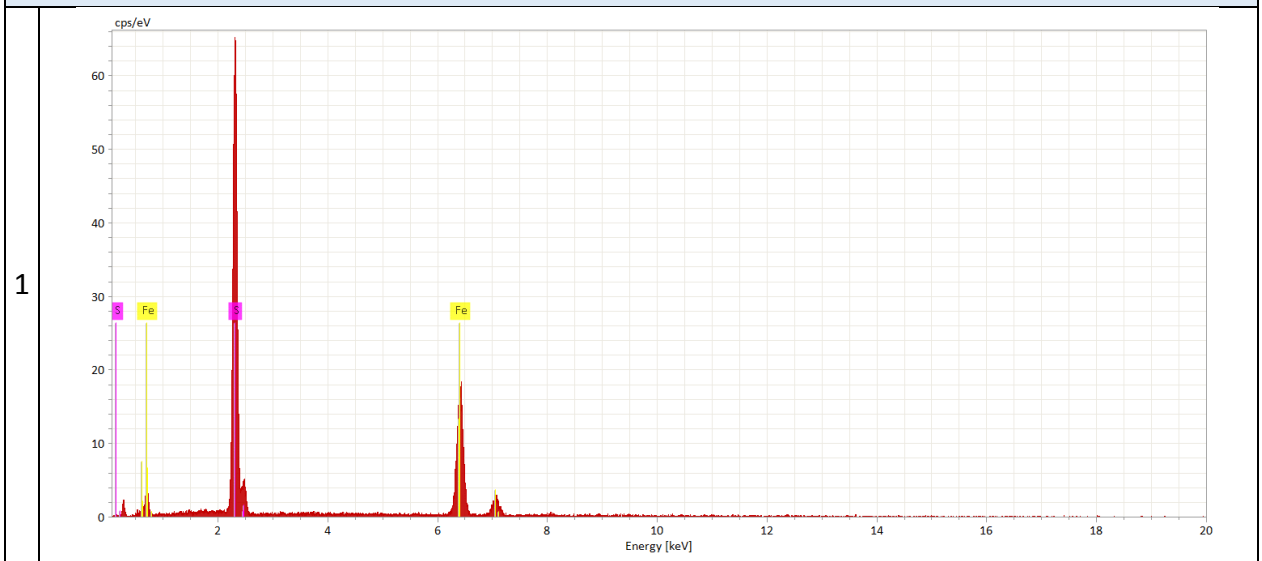
Diagrama de Composición Elemental



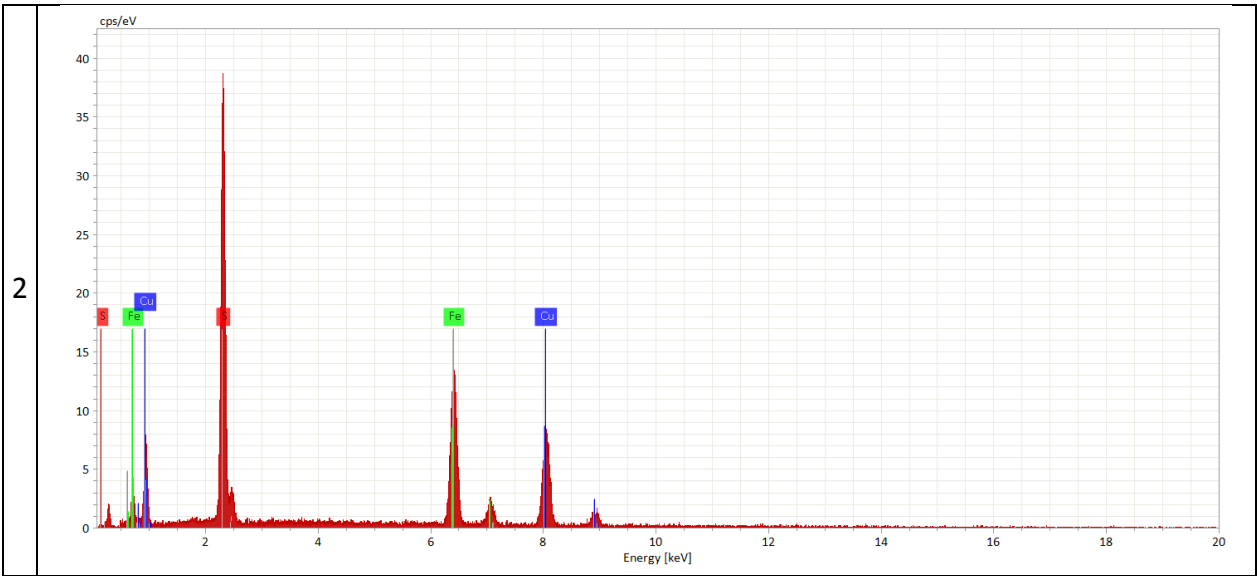
MUESTRA SM-05-2
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	
2	Calcopirita	CuFeS ₂	

Diagrama de Composición Elemental



2



MUESTRA SM-05-3
LOCALIDAD CERRO CASALE

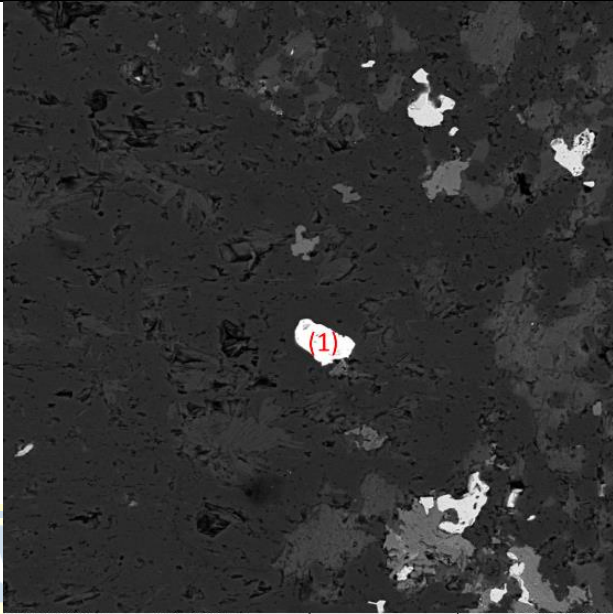
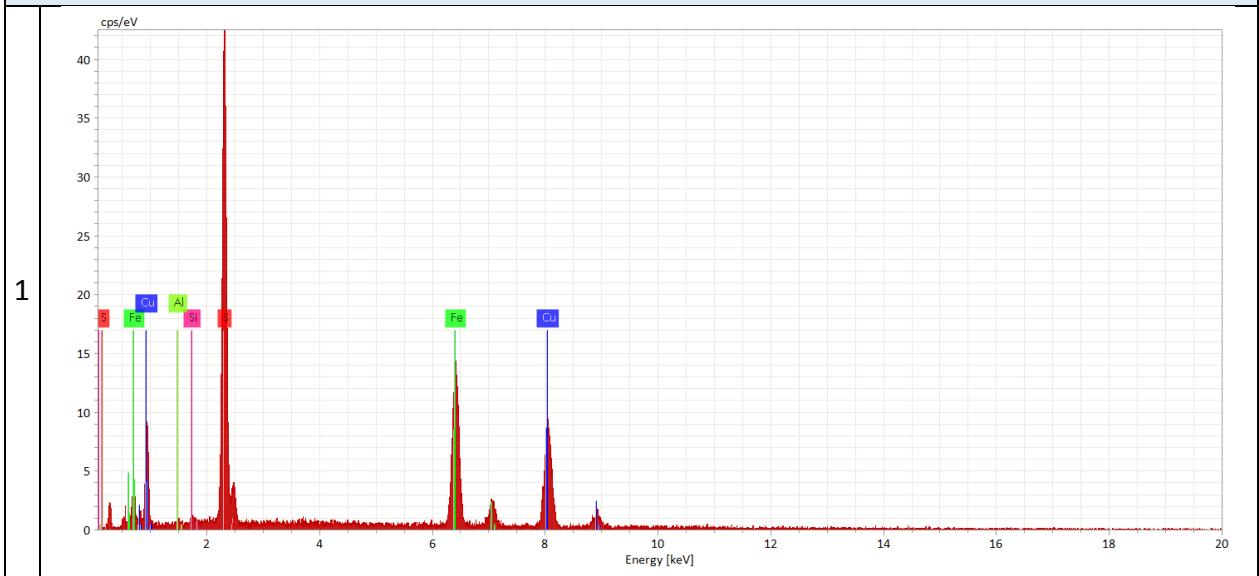
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	CuFeS_2	 <p>SEM MAG: 976 x WD: 17.60 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-05 grano3</p> <p>VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-05-4
LOCALIDAD CERRO CASALE

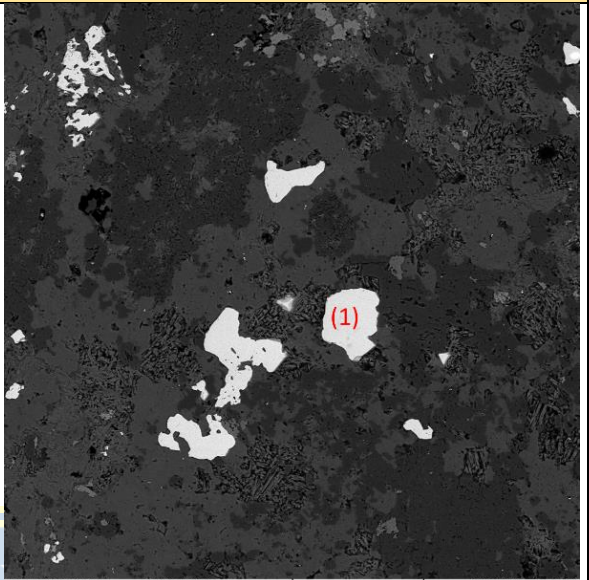
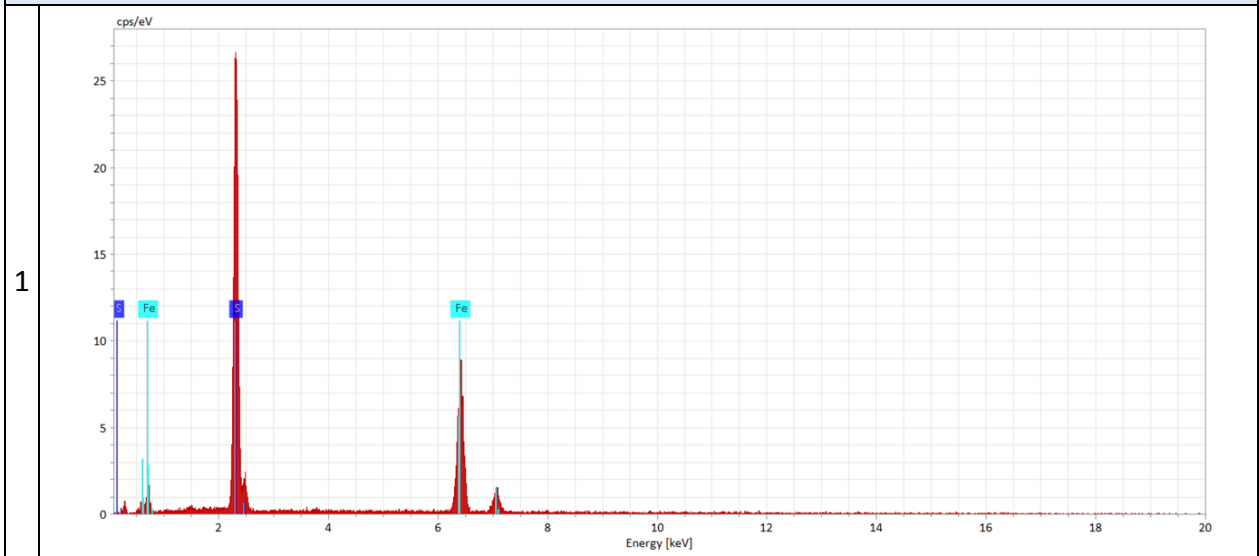
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	 <p>SEM MAG: 457 x WD: 17.23 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-05 grano4 VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-06-1
 LOCALIDAD CERRO CASALE

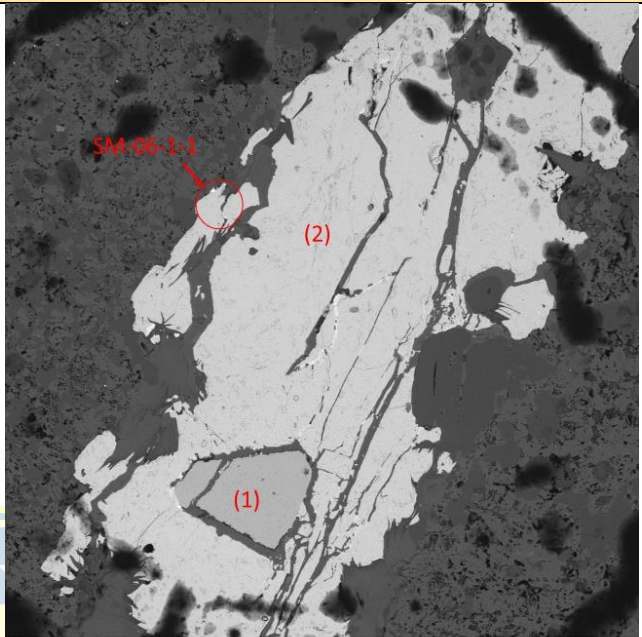
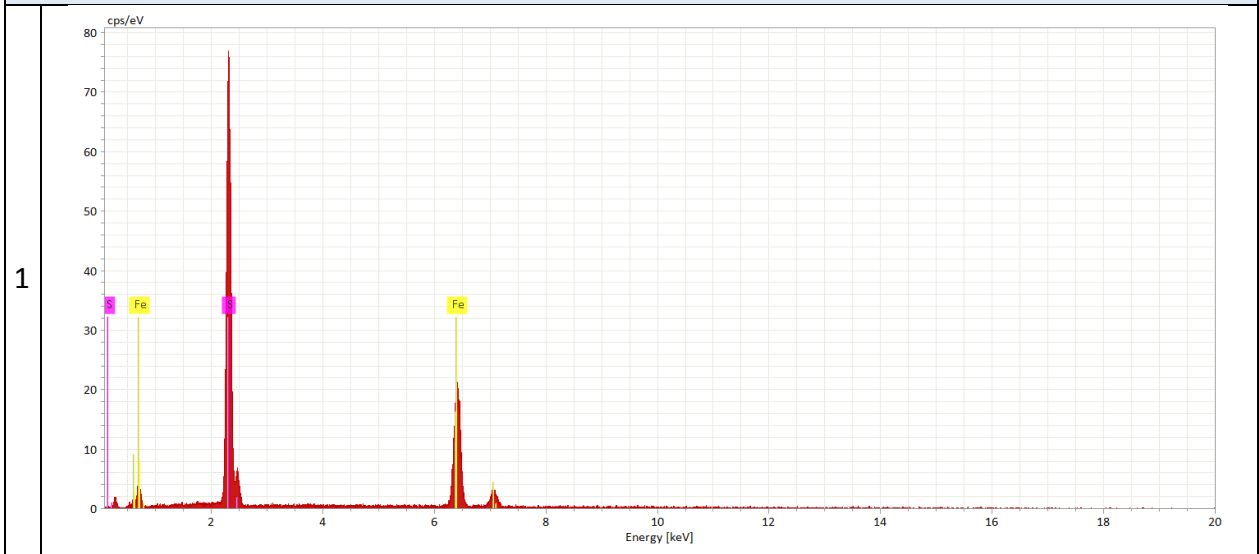
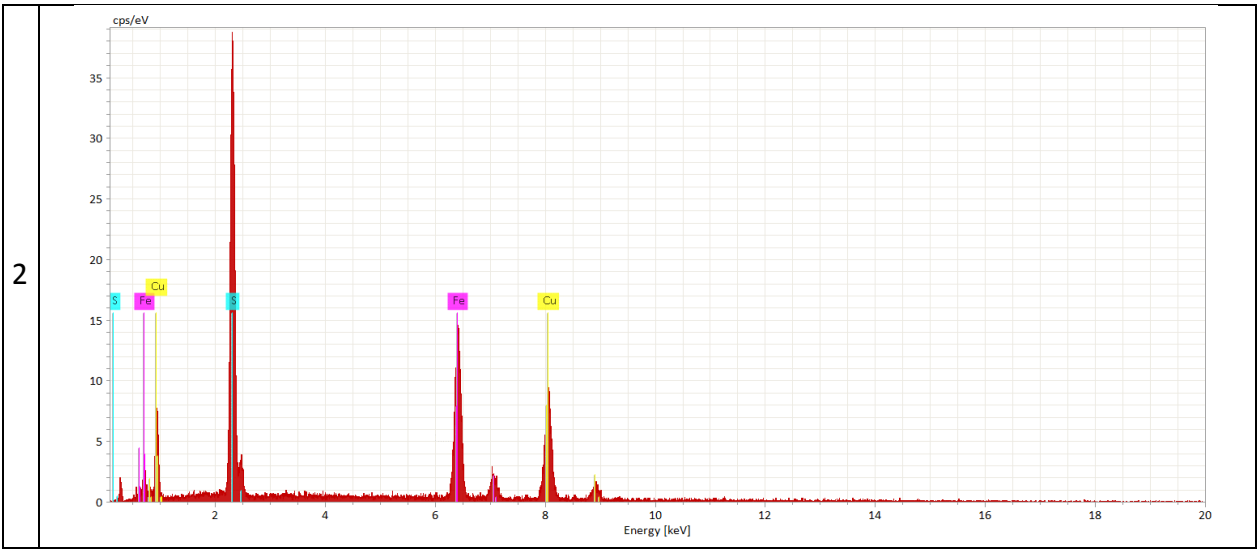
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	 <p>SEM MAG: 187 x WD: 18.41 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-06 grano1</p> <p>VEGAM TESCANA Instituto GEA</p>
2	Calcopirita	CuFeS ₂	

Diagrama de Composición Elemental



2



MUESTRA SM-06-1-1
 LOCALIDAD CERRO CASALE

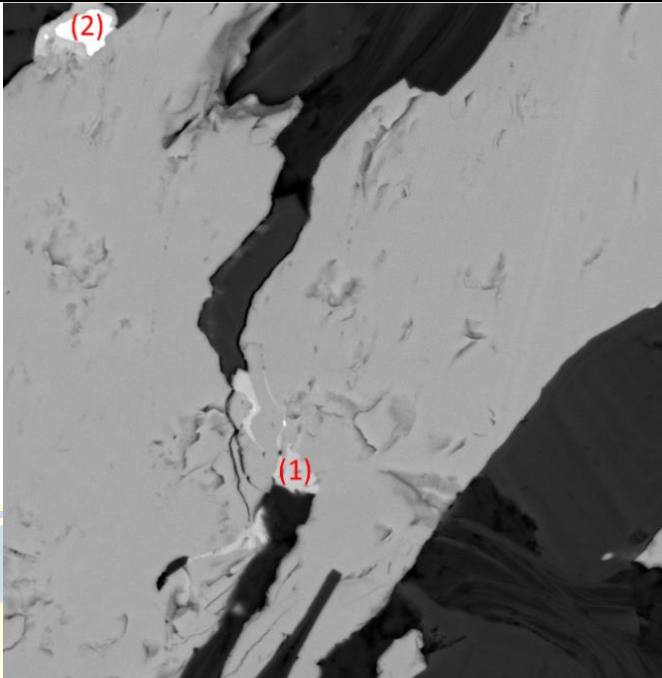
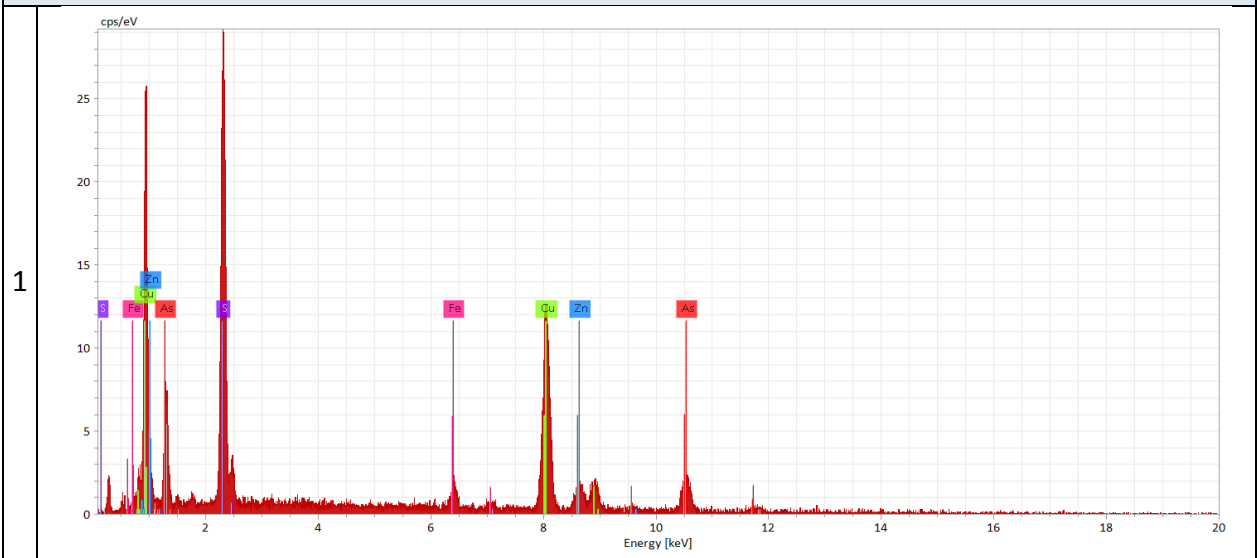
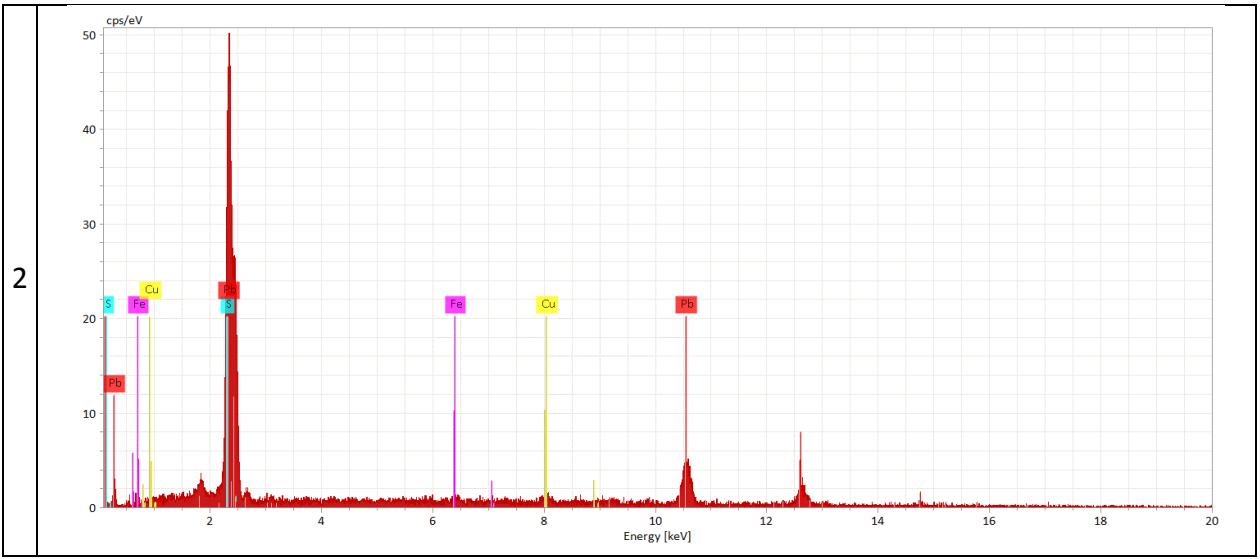
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Tenantita	$Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]As_4S_{13}$	 <p>SEM MAG: 2.88 kx WD: 18.14 mm VEGA\\ TESCA Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 20 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-06 grano1-2 Instituto GEA</p>
2	Galena	PbS	

Diagrama de Composición Elemental



2



MUESTRA SM-06-2
LOCALIDAD CERRO CASALE

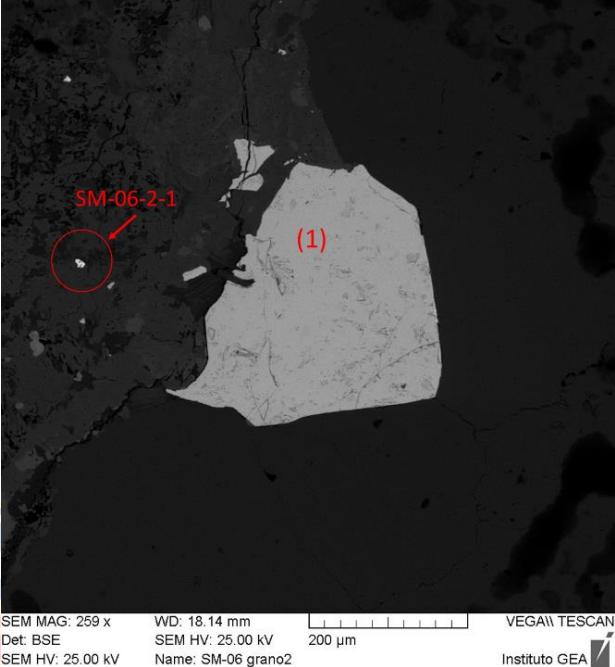
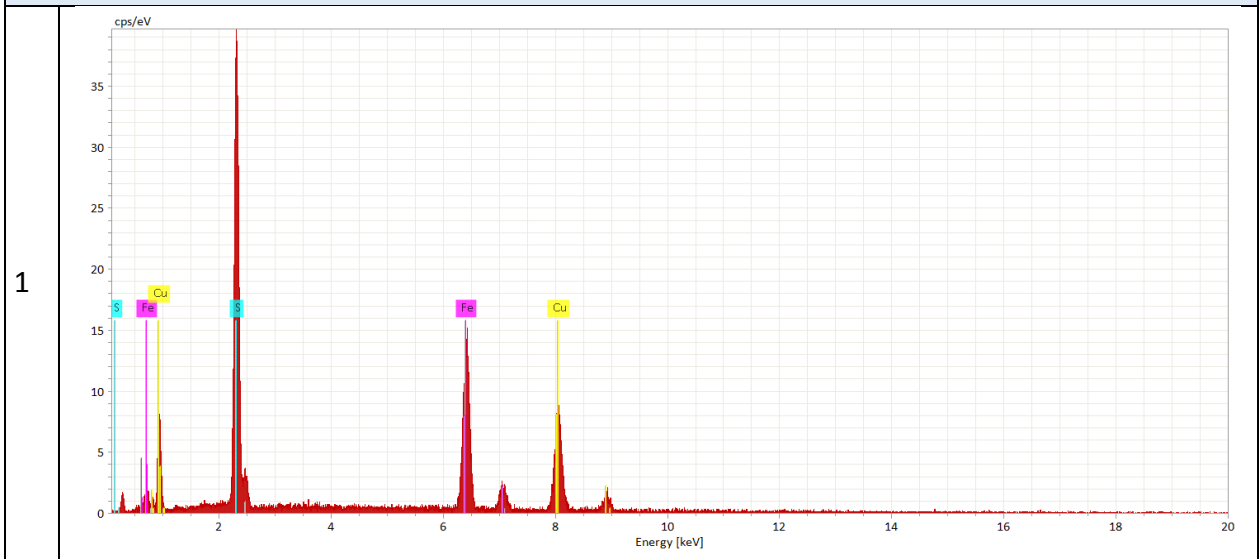
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	CuFeS_2	

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-06-2-1
 LOCALIDAD CERRO CASALE

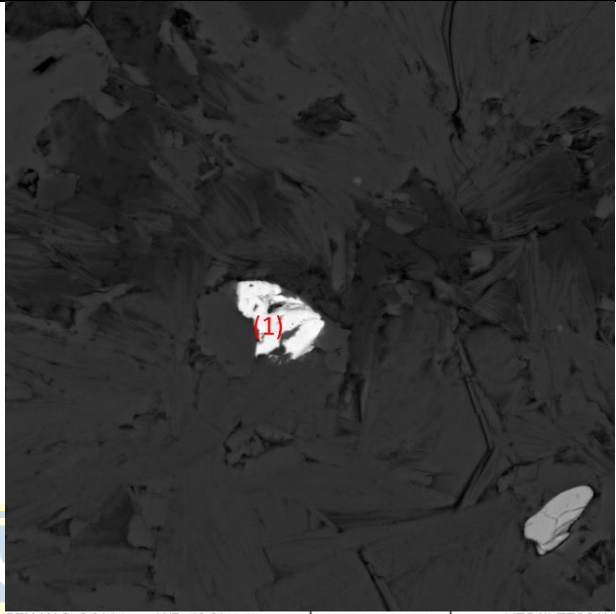
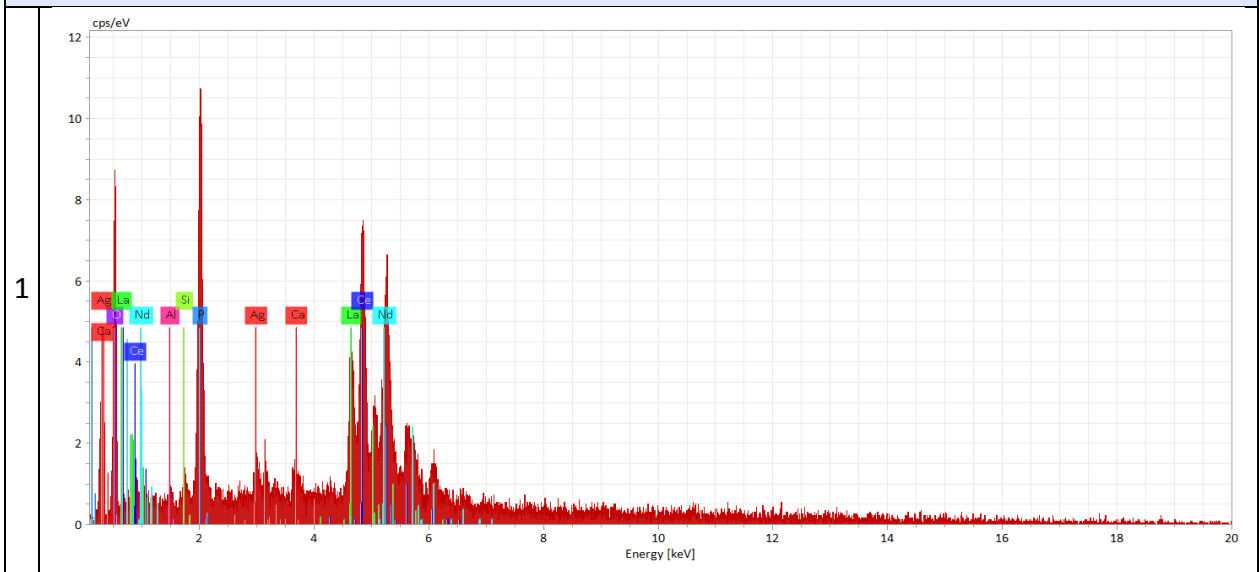
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Monacita	(La,Ce,Nd)PO ₄	 <p>SEM MAG: 2.31 kx WD: 18.61 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 20 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-06 grano2-1 Instituto GEA</p>

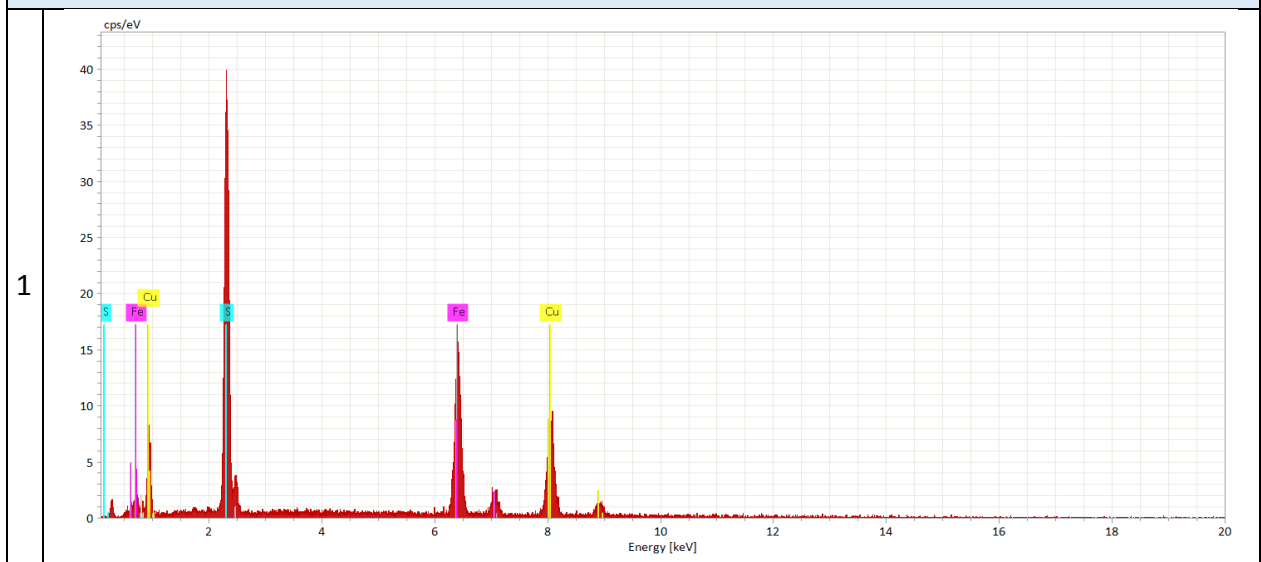
Diagrama de Composición Elemental



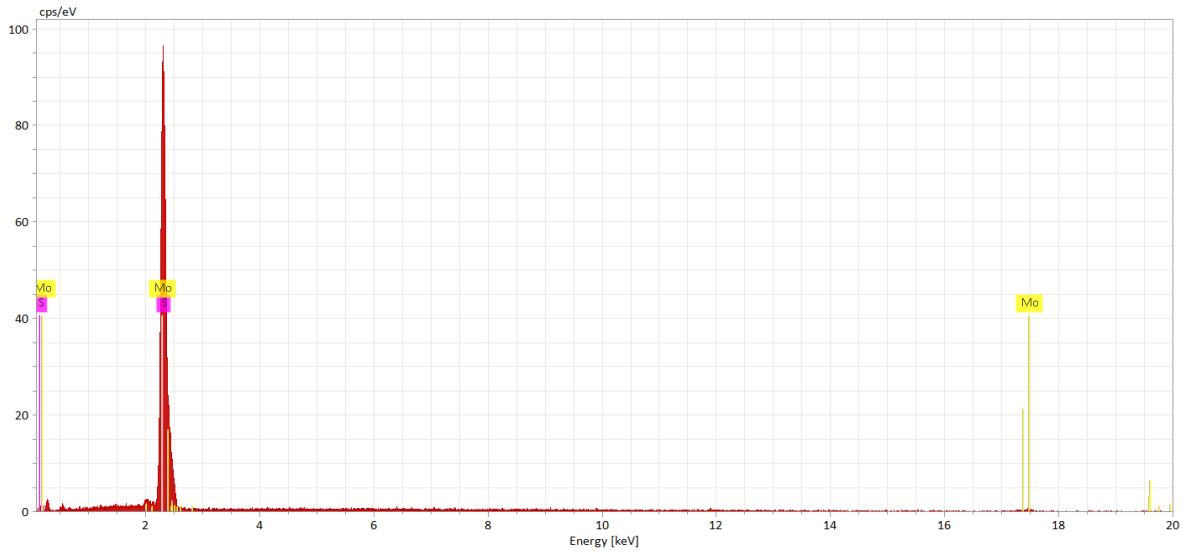
MUESTRA SM-06-3
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	$CuFeS_2$	
2	Molibdenita	MoS_2	
3	Galena	PbS	

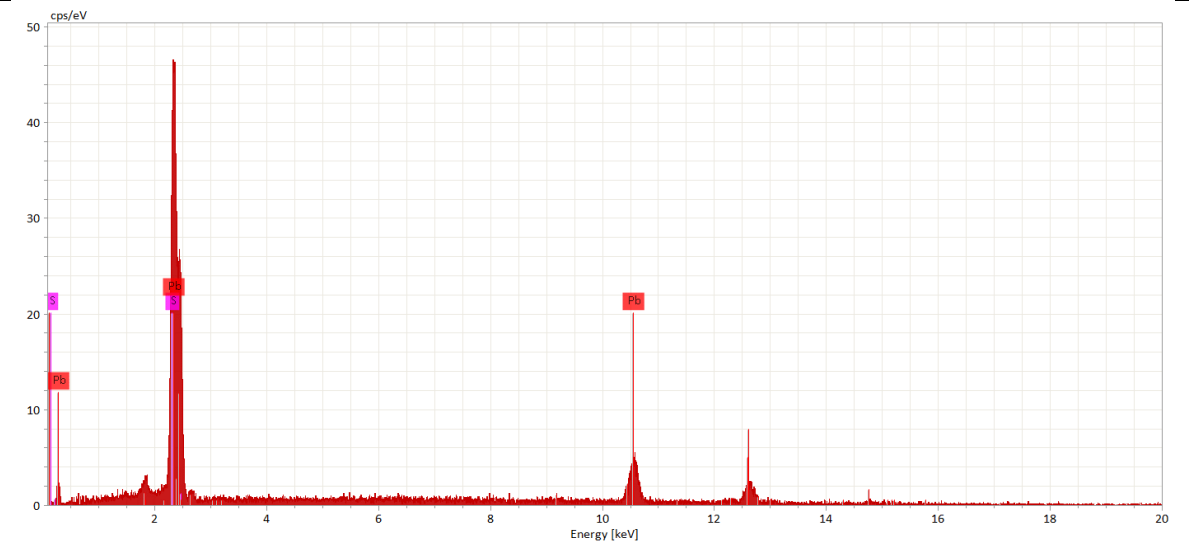
Diagrama de Composición Elemental



2



3



MUESTRA SM-06-4
 LOCALIDAD CERRO CASALE

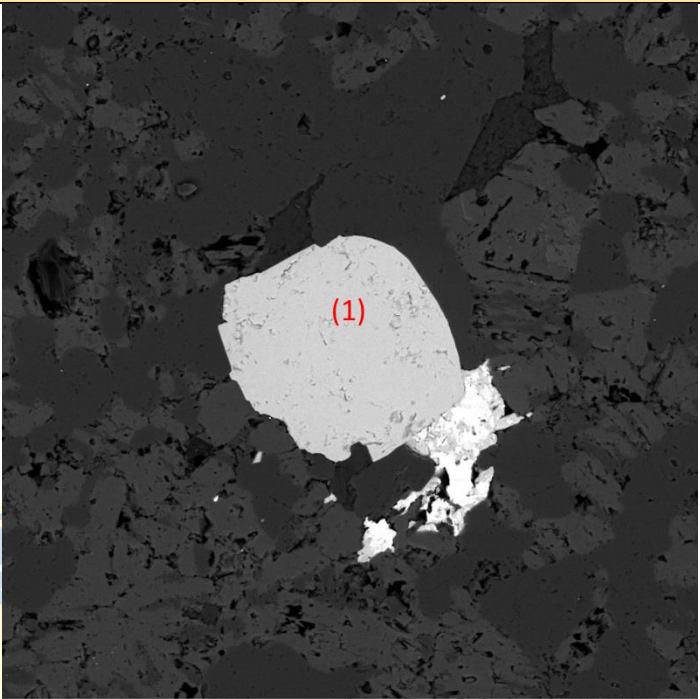
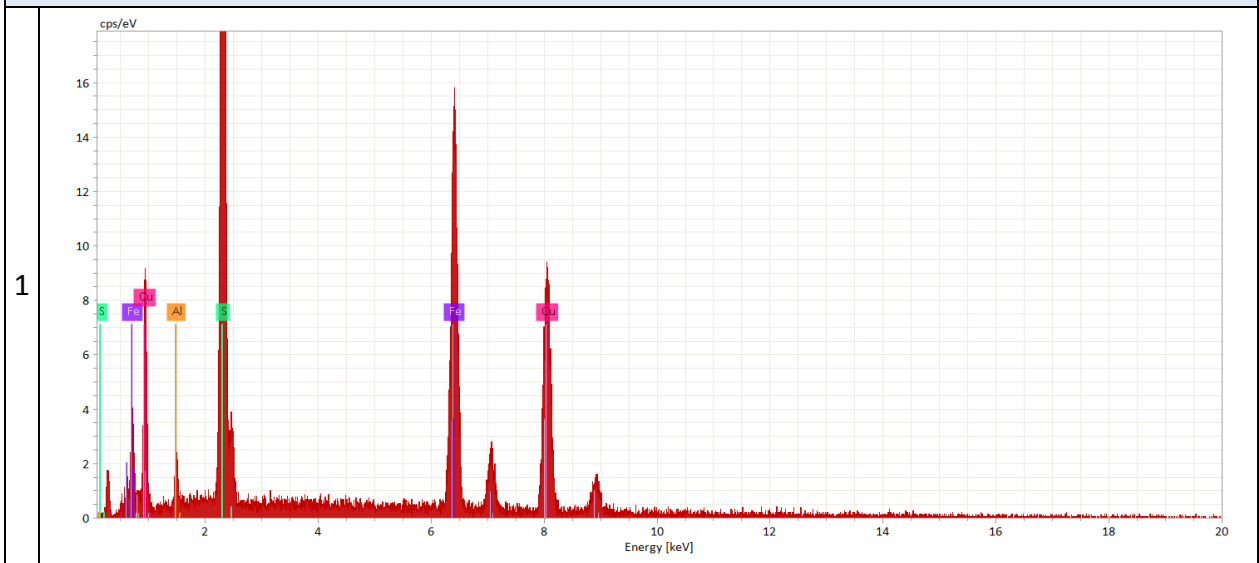
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	CuFeS ₂	 <p>SEM MAG: 770 x WD: 19.03 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-06 grano4</p> <p>VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-07-1
 LOCALIDAD CERRO CASALE

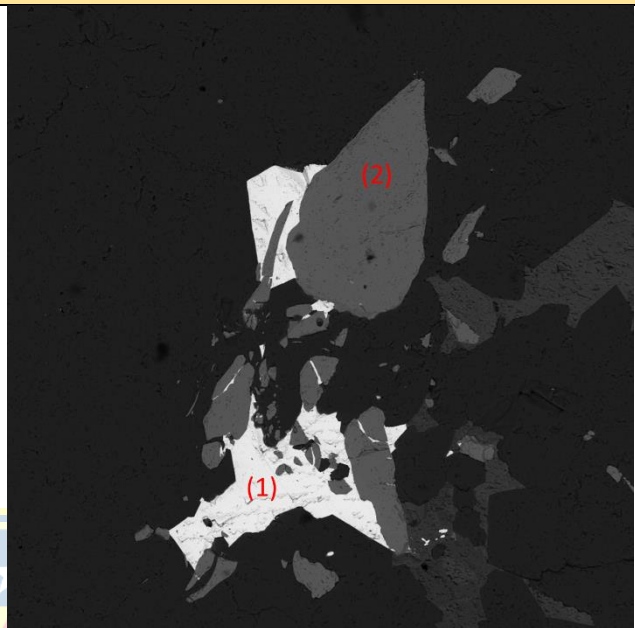
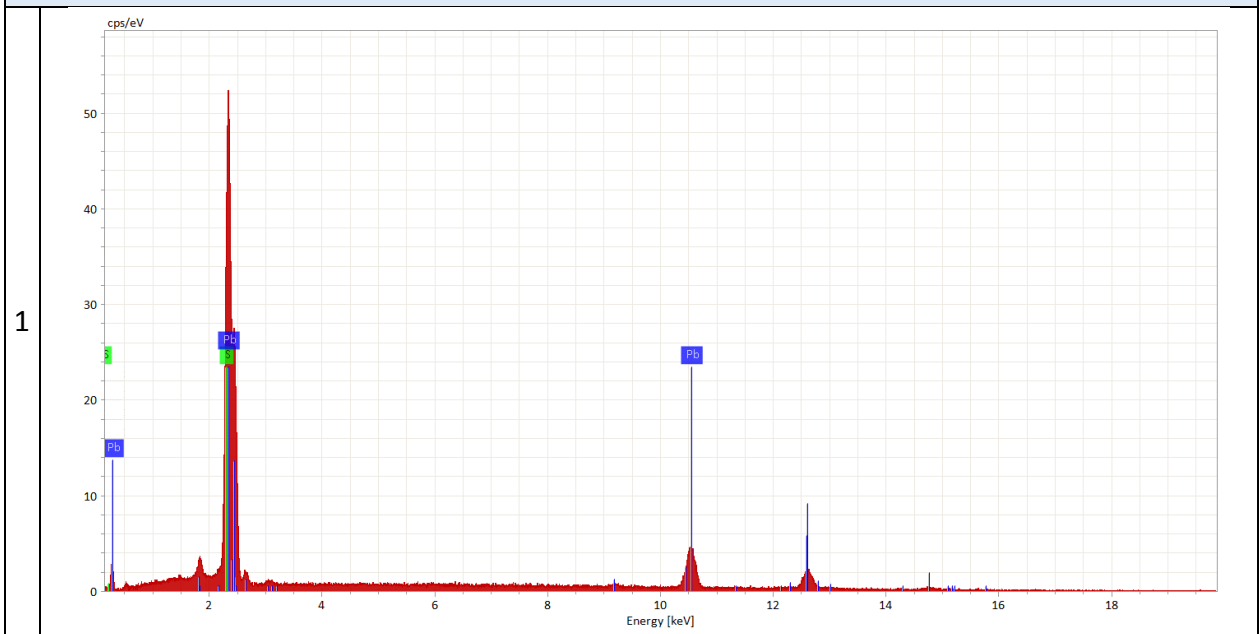
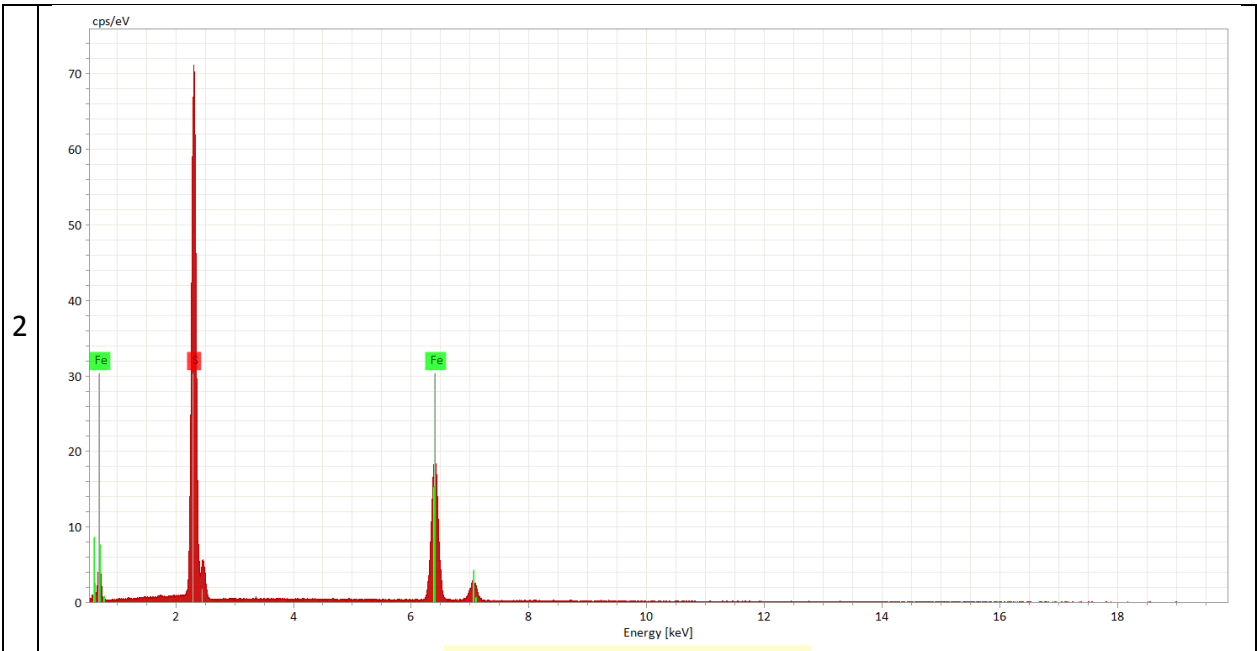
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Galena	PbS	 <p data-bbox="837 945 1468 1005"> SEM MAG: 511 x WD: 19.74 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 100 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-7-grano1 Instituto GEA </p>
2	Pirita	FeS ₂	

Diagrama de Composición Elemental

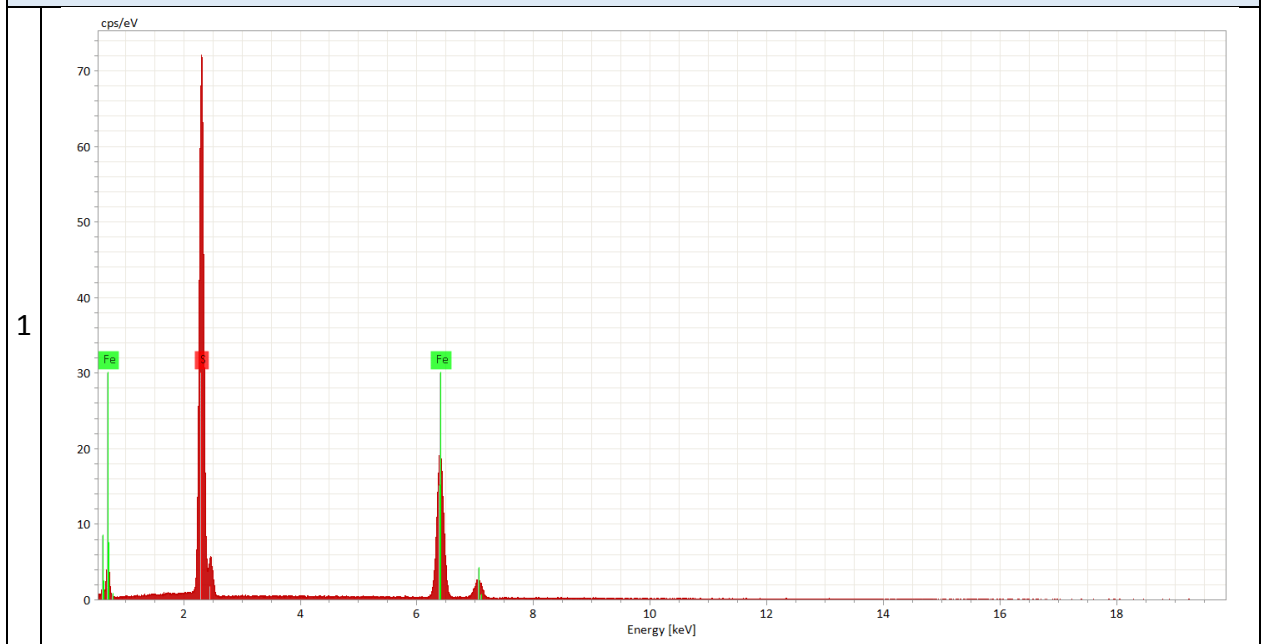




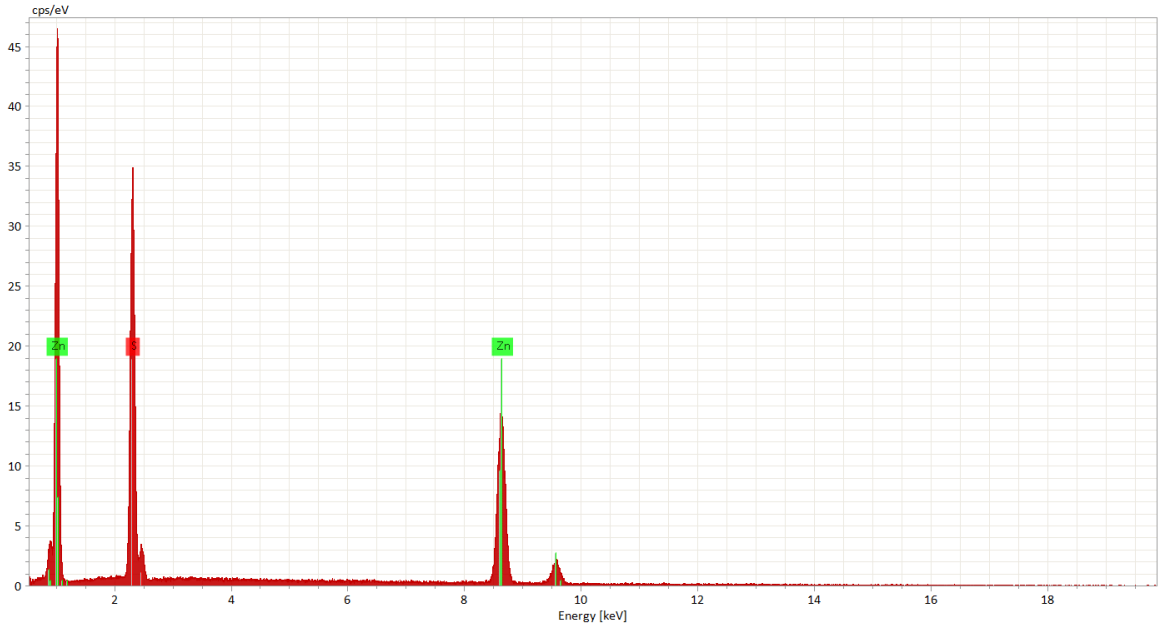
MUESTRA SM-07-2
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	
2	Esfalerita	ZnS	
3	Argentotenantita a	(Ag,Cu) ₁₀ (Zn,Fe) ₂ (As,Sb) ₄ S ₁₃	
4	Tetraedrita arsenical	Cu ₆ [Cu ₄ (Fe,Zn) ₂](Sb,As) ₄ S ₁₃	

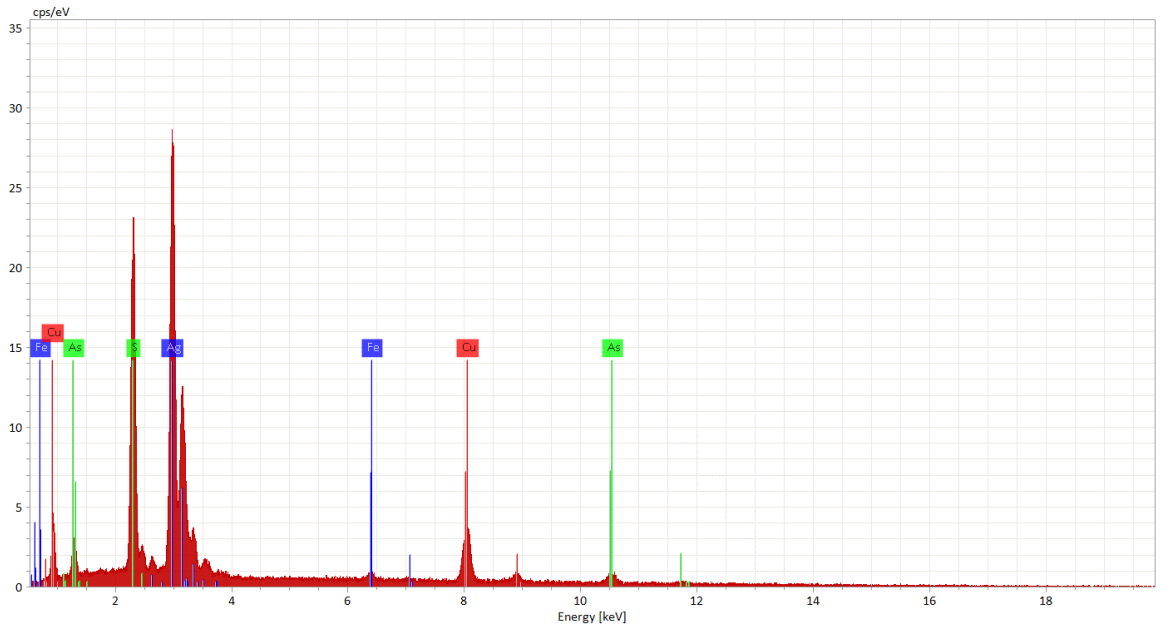
Diagrama de Composición Elemental



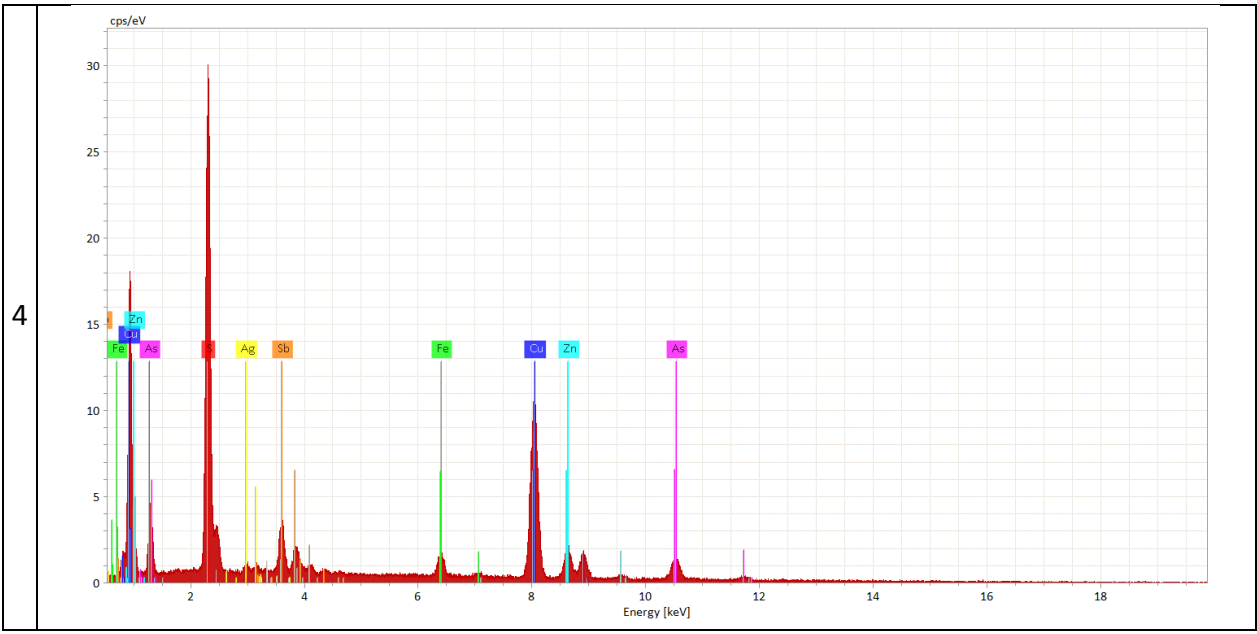
2



3



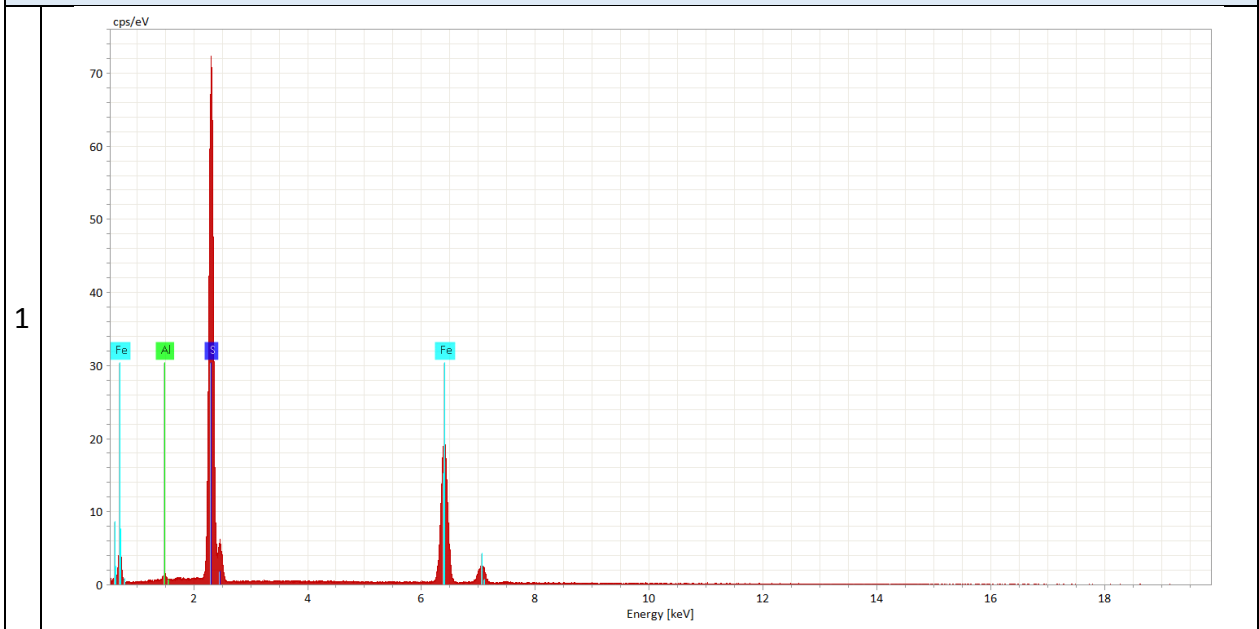
4



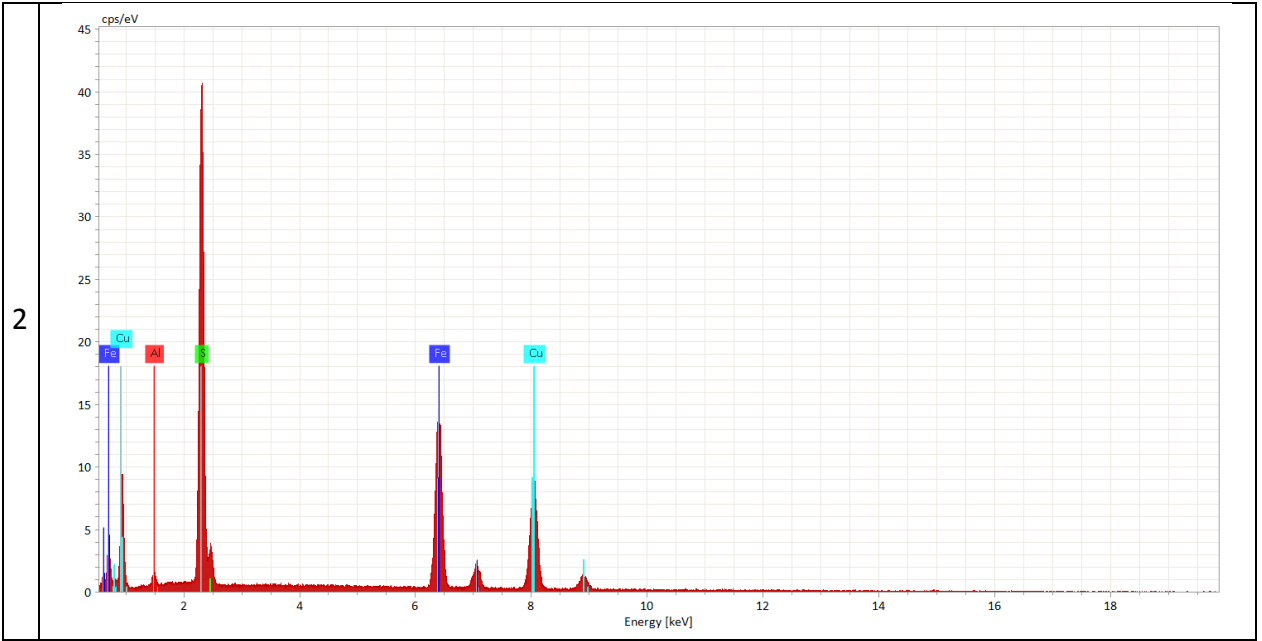
MUESTRA SM-07-3
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	
2	Calcopirita	CuFeS ₂	

Diagrama de Composición Elemental



2



MUESTRA SM-07-4
 LOCALIDAD CERRO CASALE

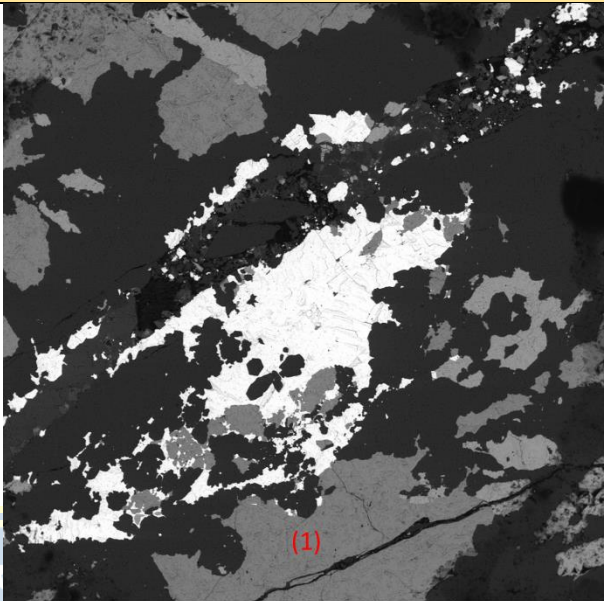
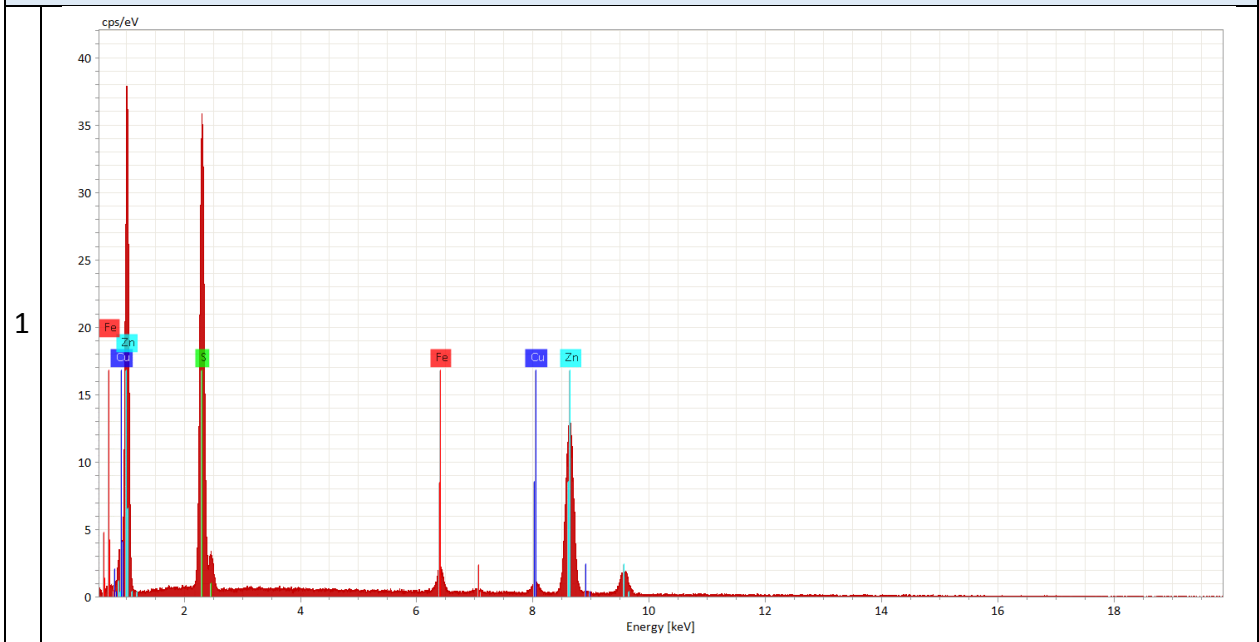
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Esfalerita	ZnS	

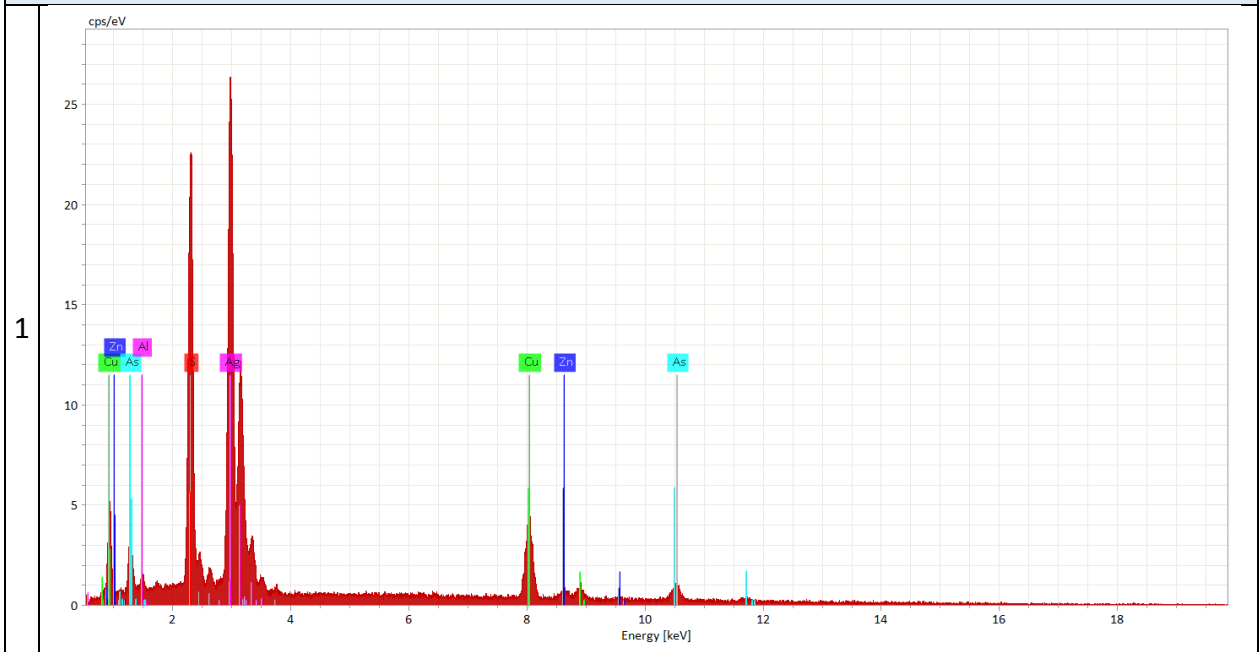
Diagrama de Composición Elemental



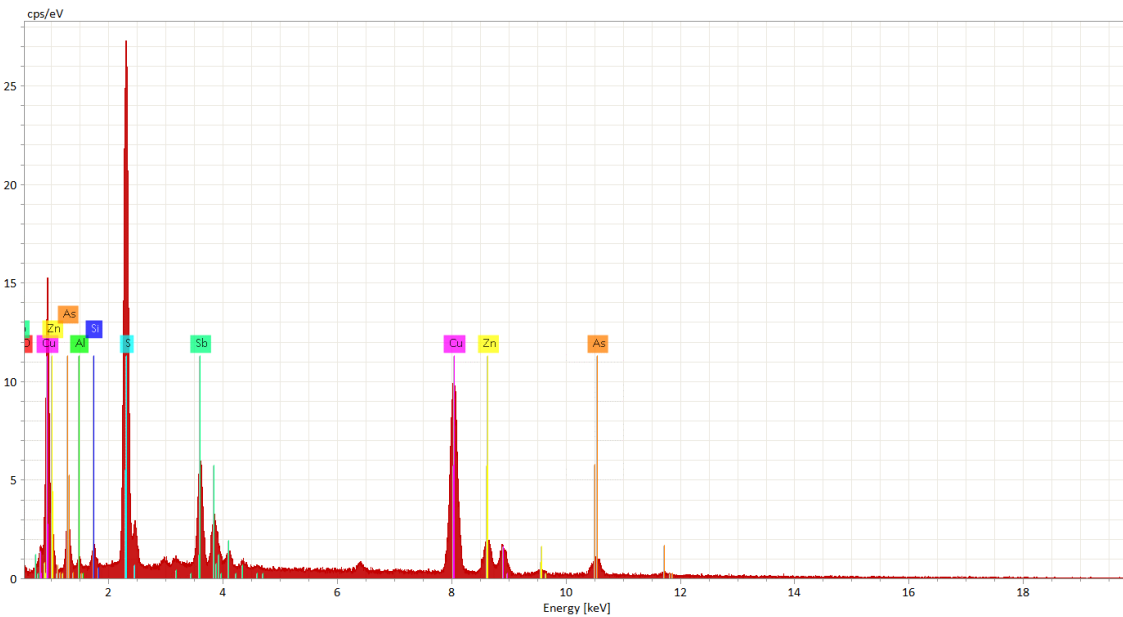
MUESTRA SM-07-5
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Argentotenantita	$(Ag,Cu)_{10}(Zn,Fe)_2(As,Sb)_4S_{13}$	
2	Tetraedrita arsenical	$Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2](Sb,As)_4S_{13}$	
3	Tetraedrita arsenical	$Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2](Sb,As)_4S_{13}$	
4	Esfalerita	ZnS	

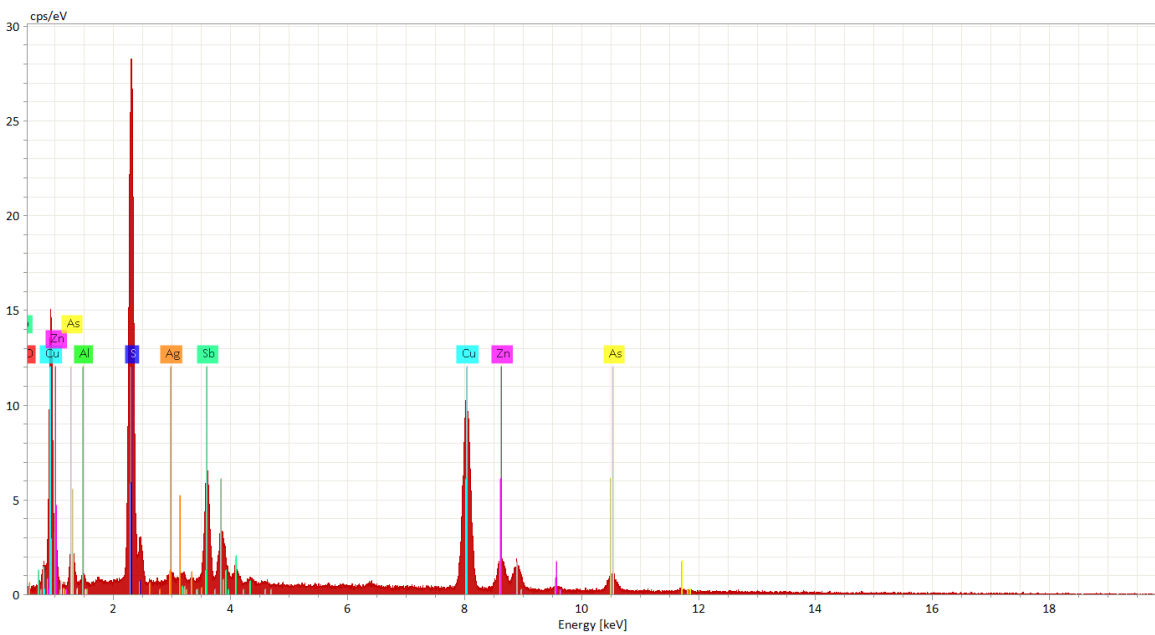
Diagrama de Composición Elemental



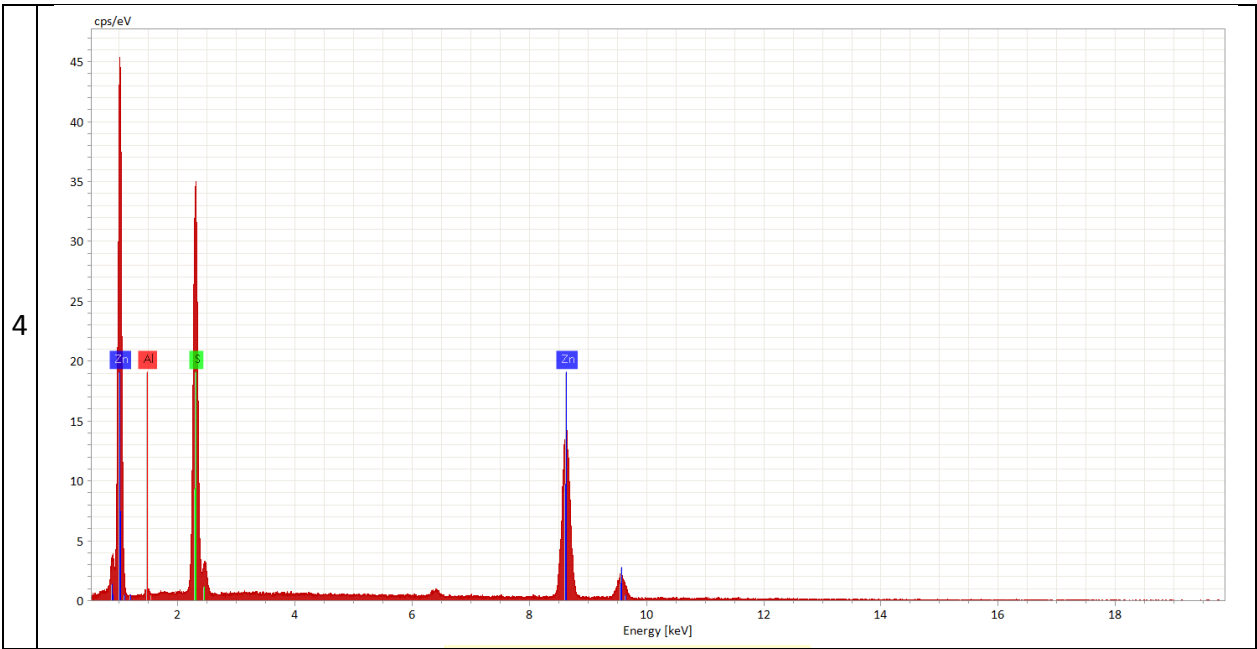
2



3



4



MUESTRA SM-09-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

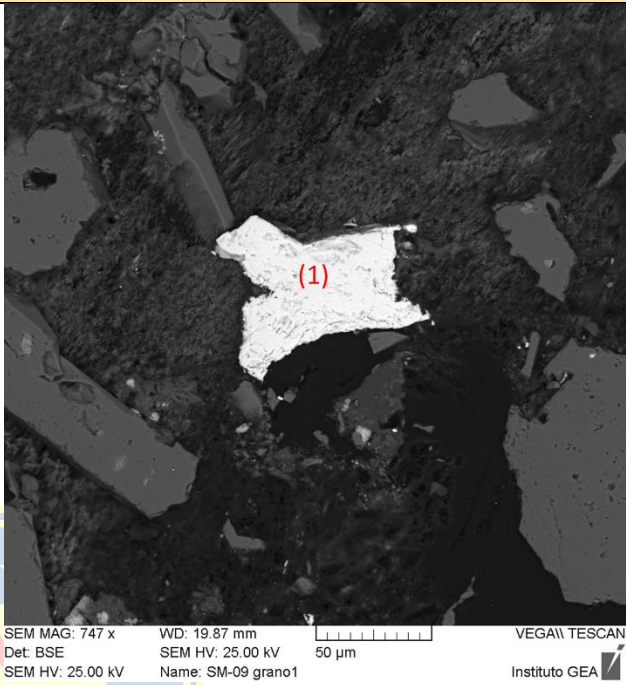
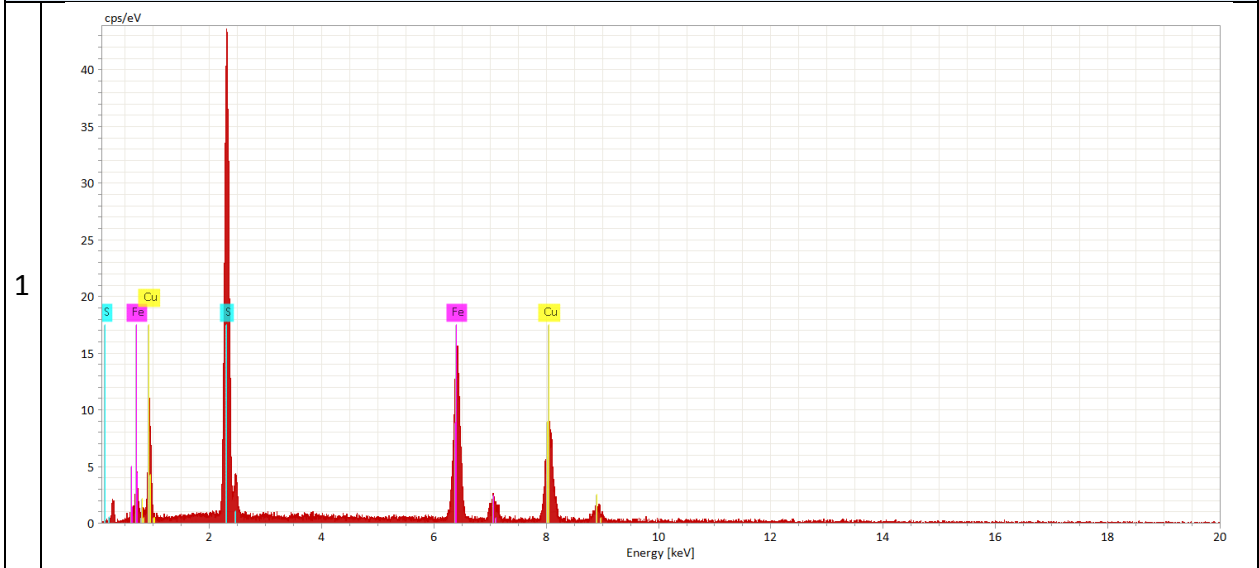
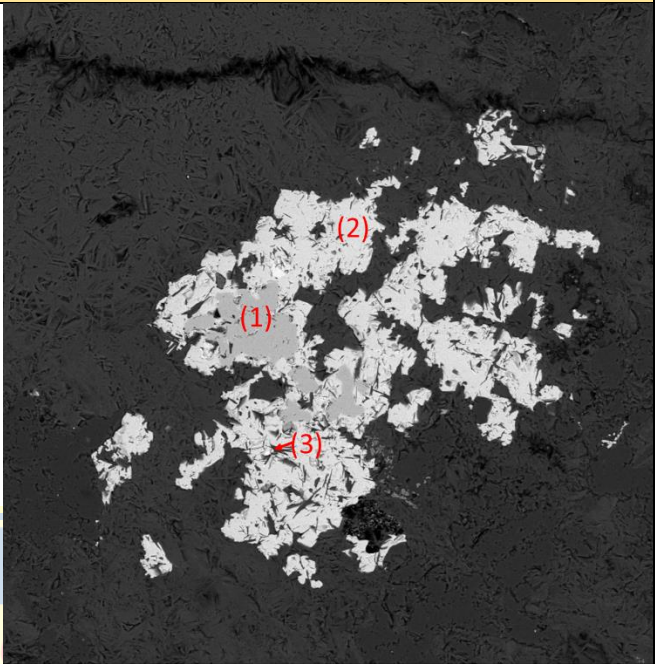
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	CuFeS_2	

Diagrama de Composición Elemental

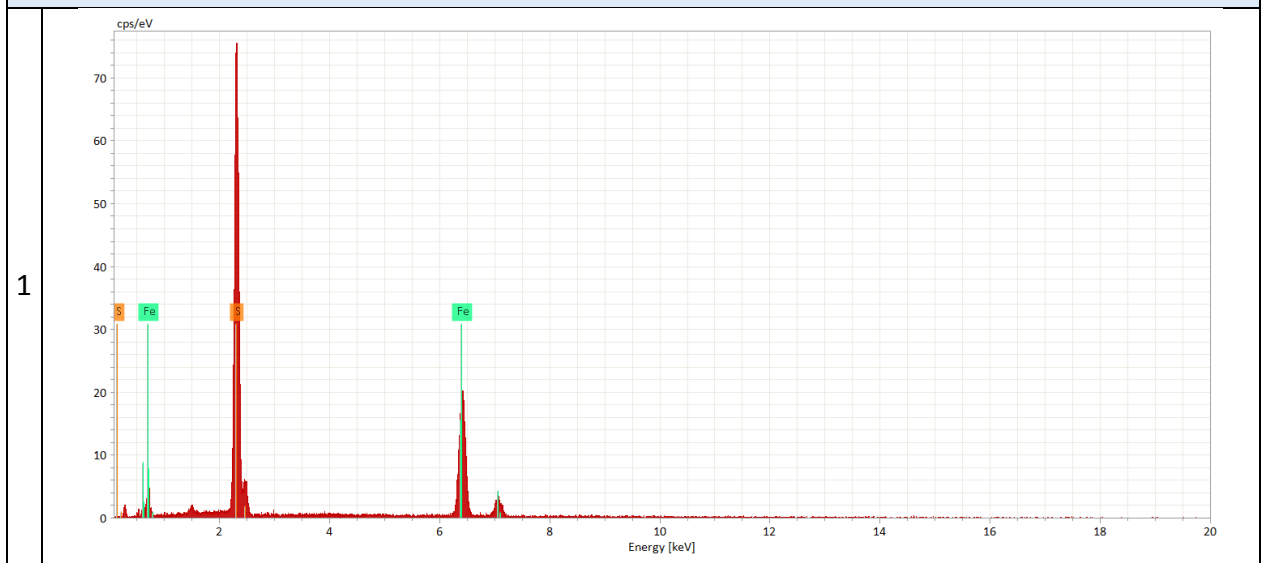


MUESTRA SM-09-2
 LOCALIDAD CERRO CASALE

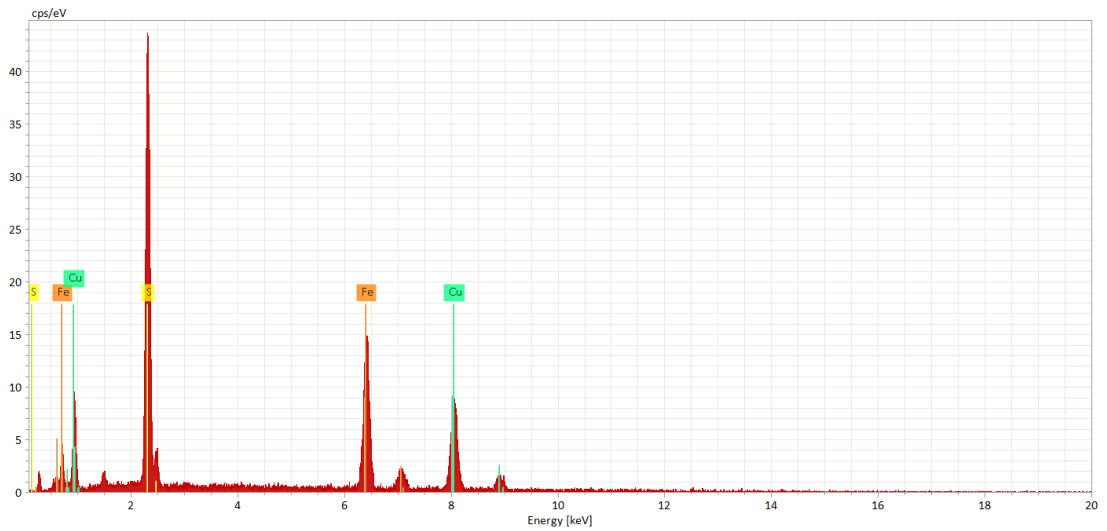
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	
2	Calcopirita	CuFeS ₂	
3	Galena	PbS	

SEM MAG: 502 x WD: 19.79 mm VEGA\\ TESCA
 Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 100 µm
 SEM HV: 25.00 kV Name: SM-09 arano2 Instituto GEA

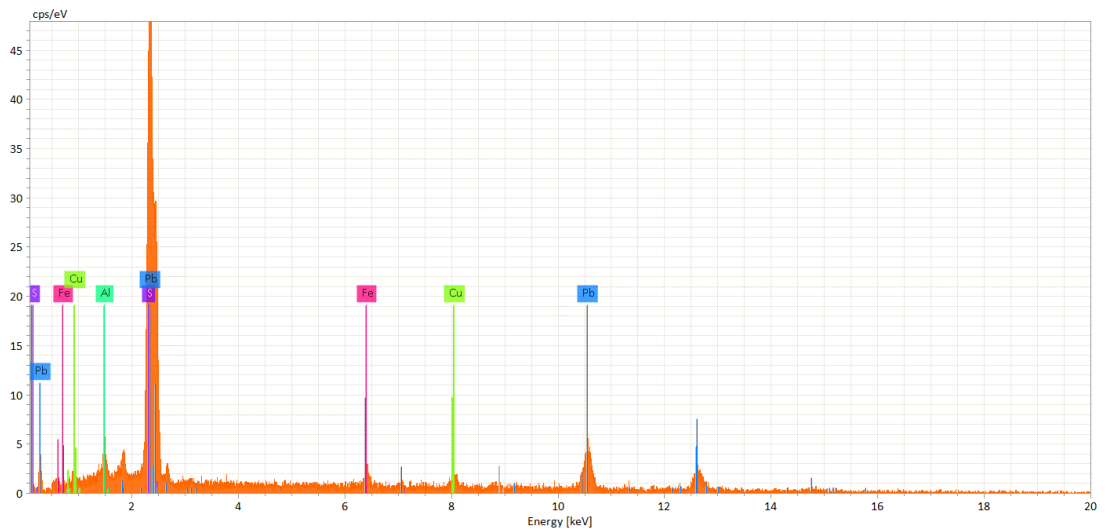
Diagrama de Composición Elemental



2



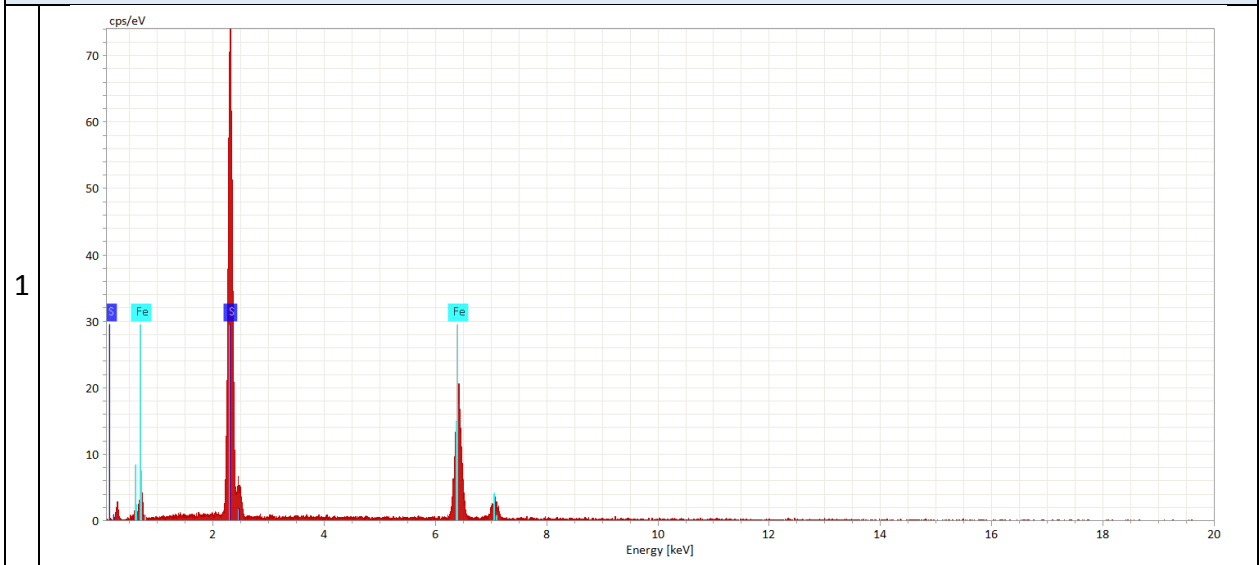
3



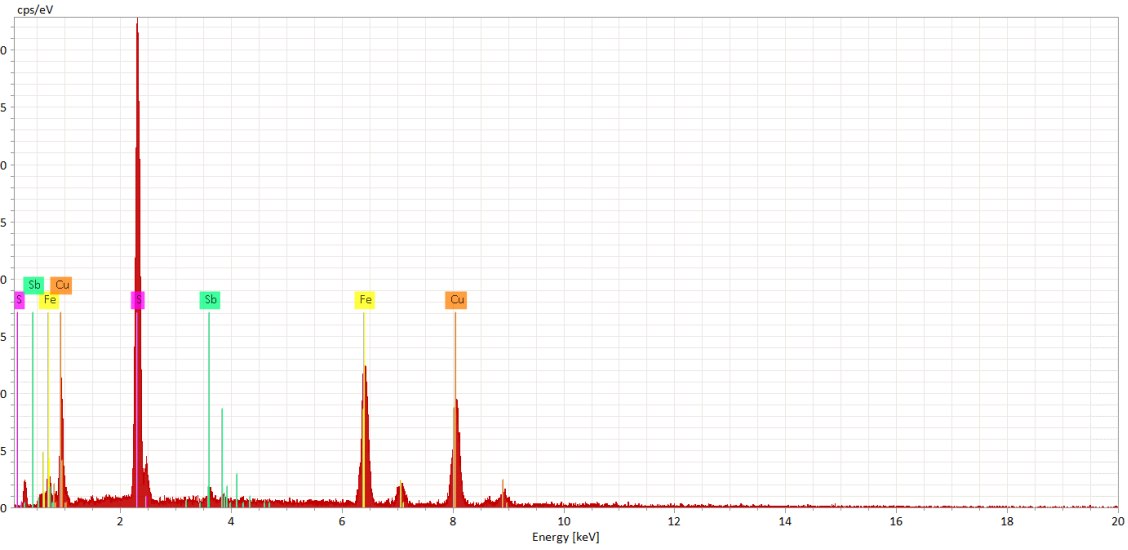
MUESTRA SM-09-3
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS_2	
2	Calcopirita	CuFeS_2	
3	Tetraedrita arsenical	$\text{Cu}_6[\text{Cu}_4(\text{Fe},\text{Zn})_2](\text{Sb},\text{As})_4\text{S}_{13}$	
4	Esfalerita	ZnS	

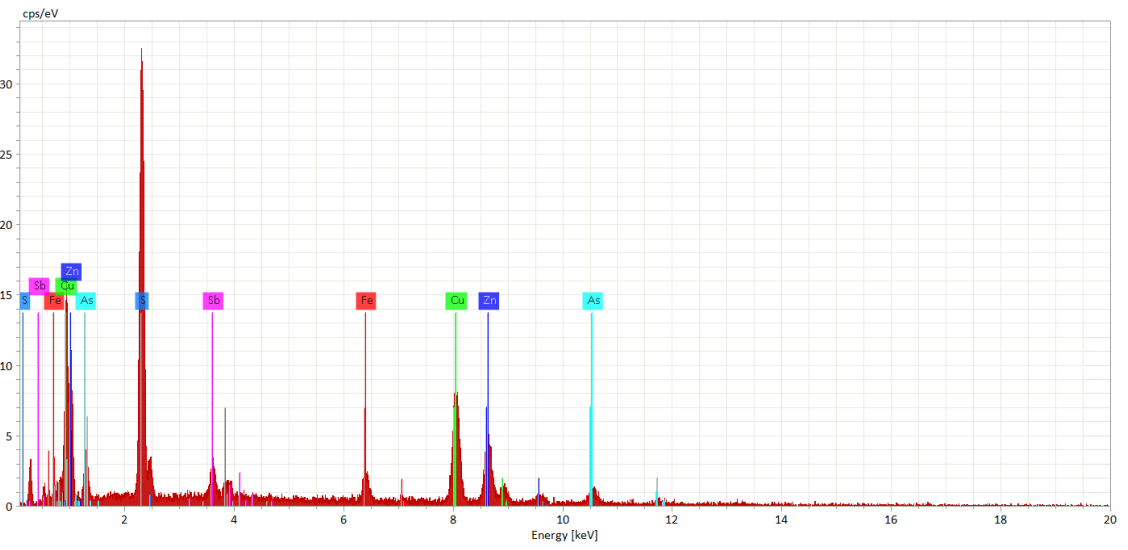
Diagrama de Composición Elemental



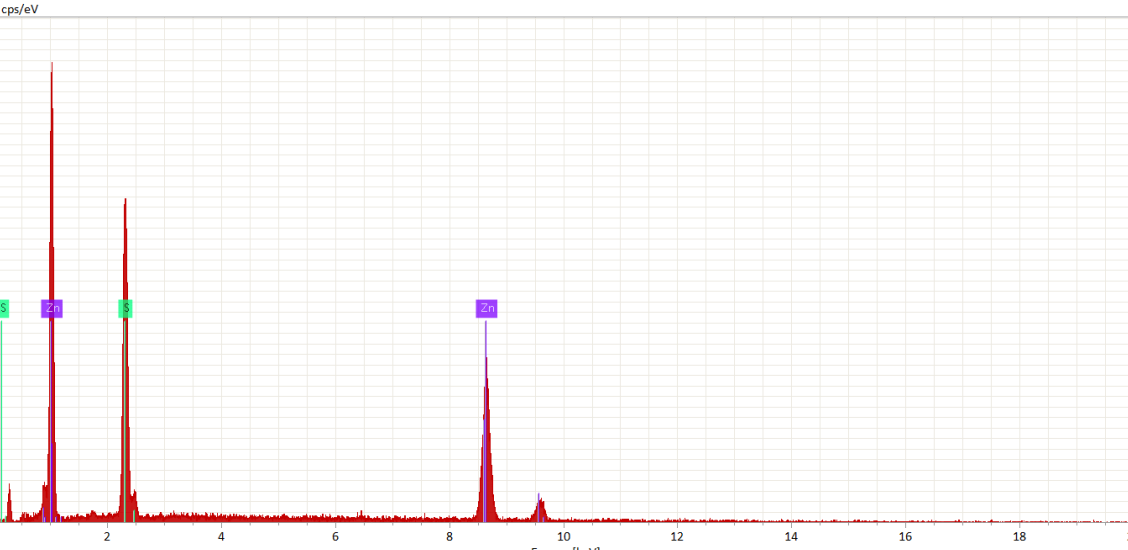
2



3



4



MUESTRA SM-09-4
 LOCALIDAD CERRO CASALE

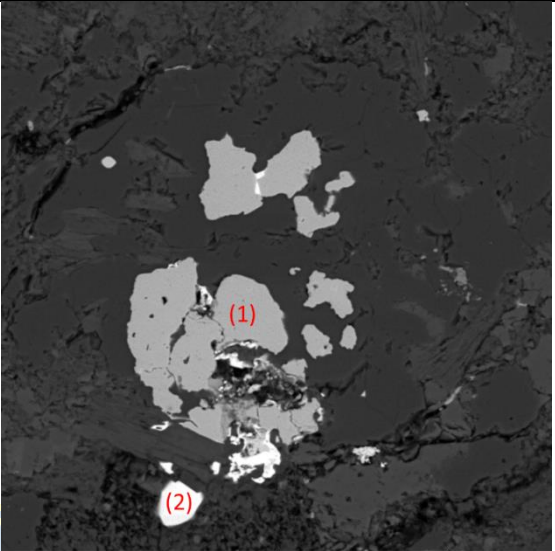
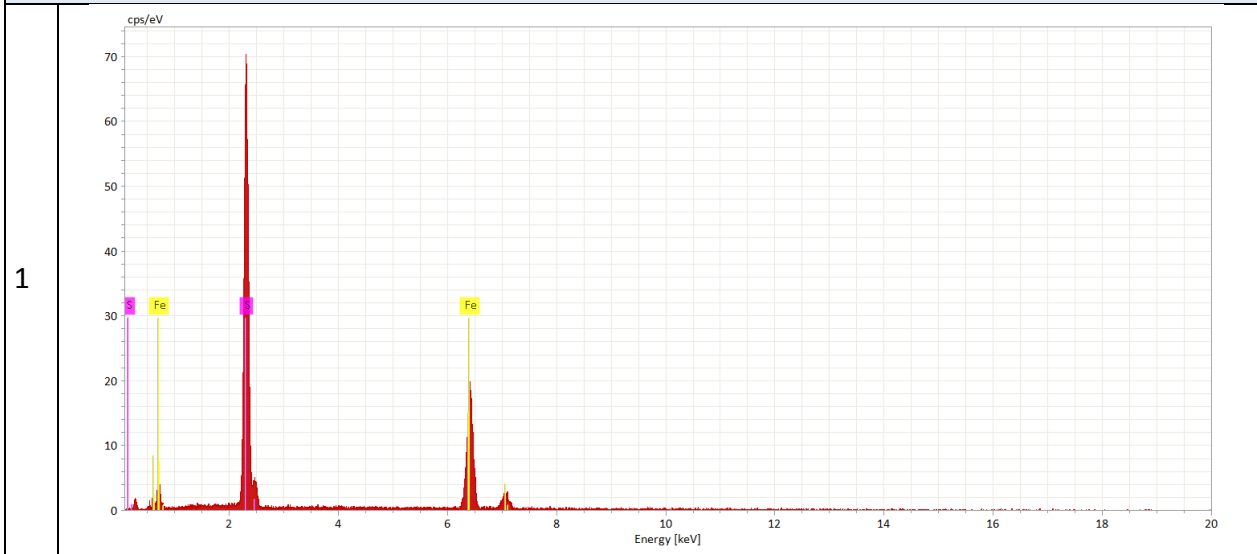
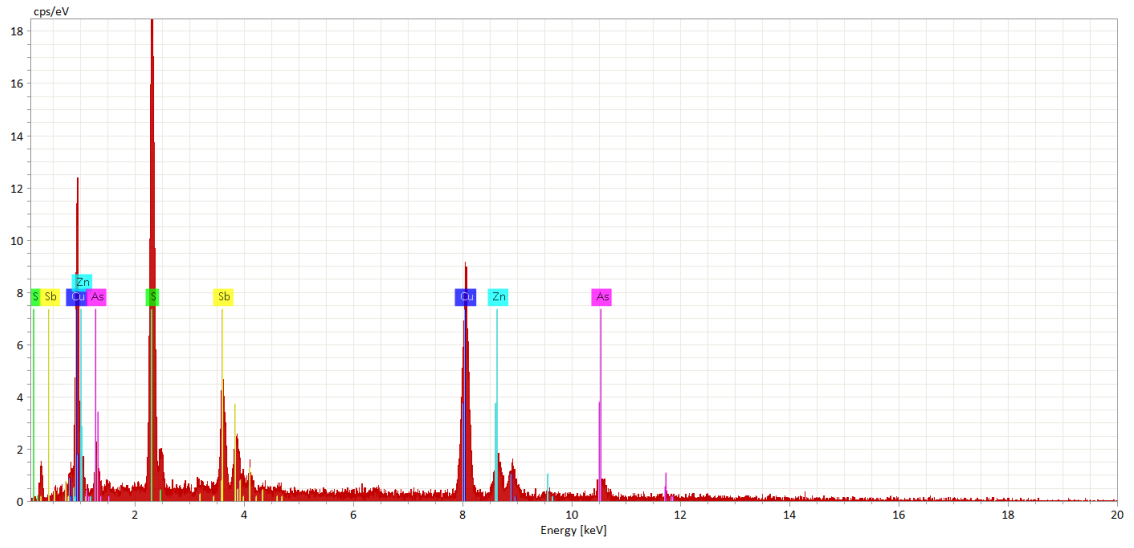
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	 <p>SEM MAG: 1.24 kx WD: 19.57 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 50 μm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-09 grano4 Instituto GEA</p>
2	Tetraedrita arsenical	Cu ₆ [Cu ₄ (Fe,Zn) ₂](Sb,As) ₄ S ₁₃	

Diagrama de Composición Elemental



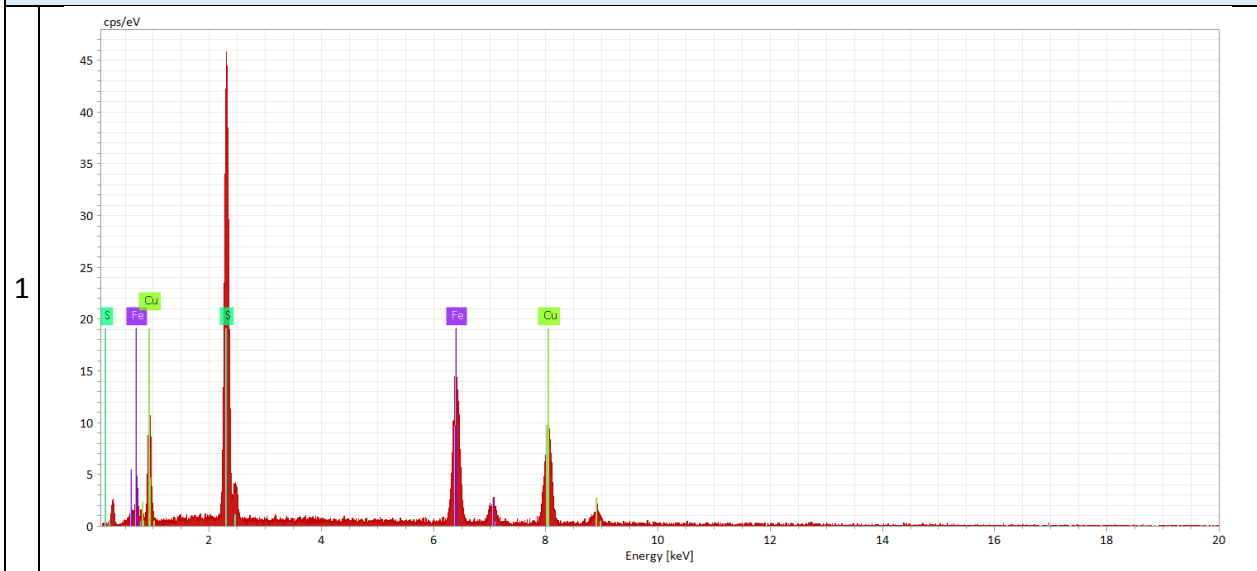
2



MUESTRA SM-12-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	CuFeS_2	<p>SEM MAG: 101 x WD: 21.12 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-12 grano1</p> <p>500 μm VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-12-2
LOCALIDAD CERRO CASALE

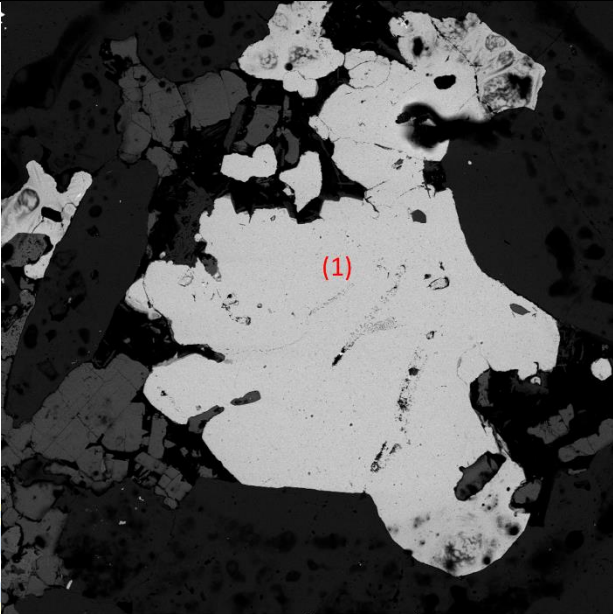
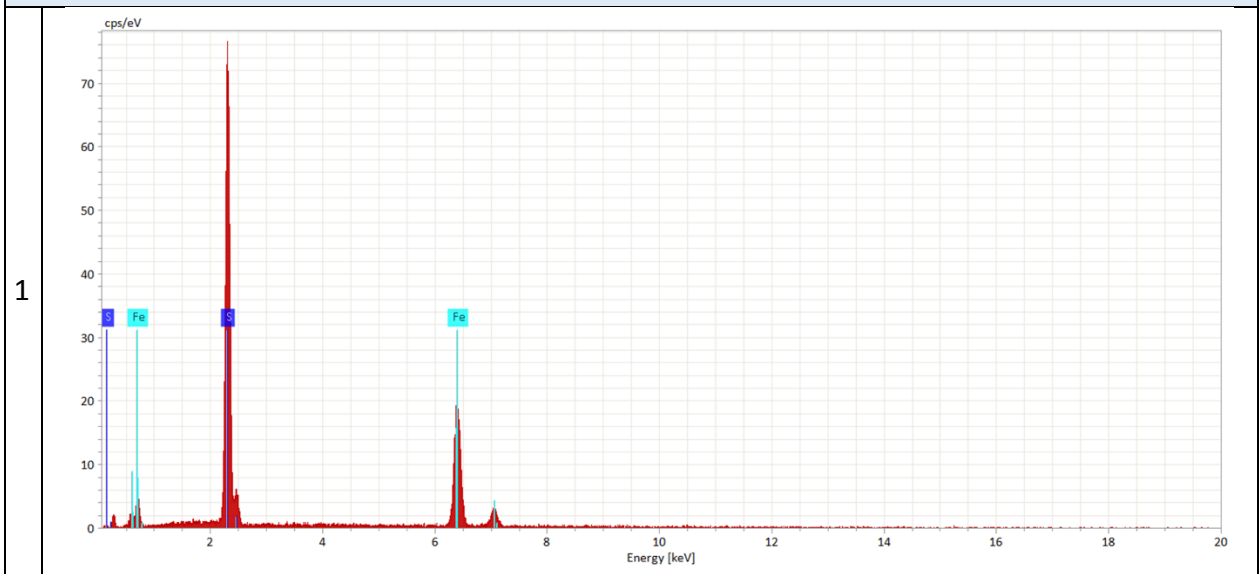
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	 <p>SEM MAG: 178 x WD: 19.71 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-12 grano2</p> <p>VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-12-3
LOCALIDAD CERRO CASALE

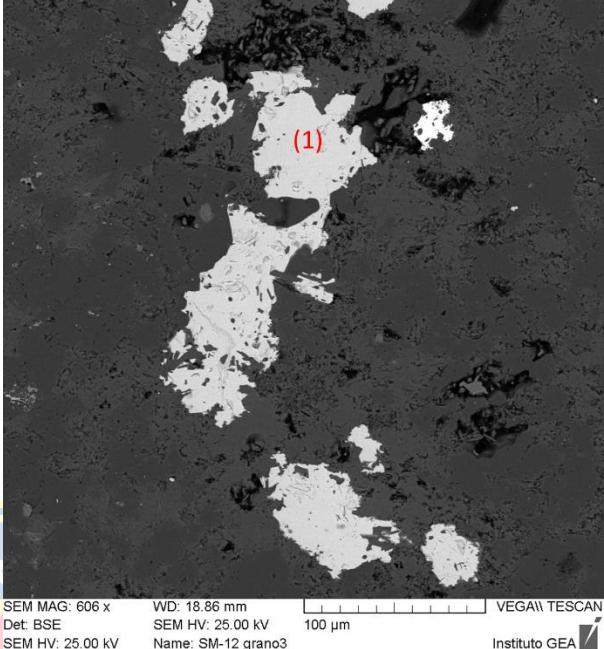
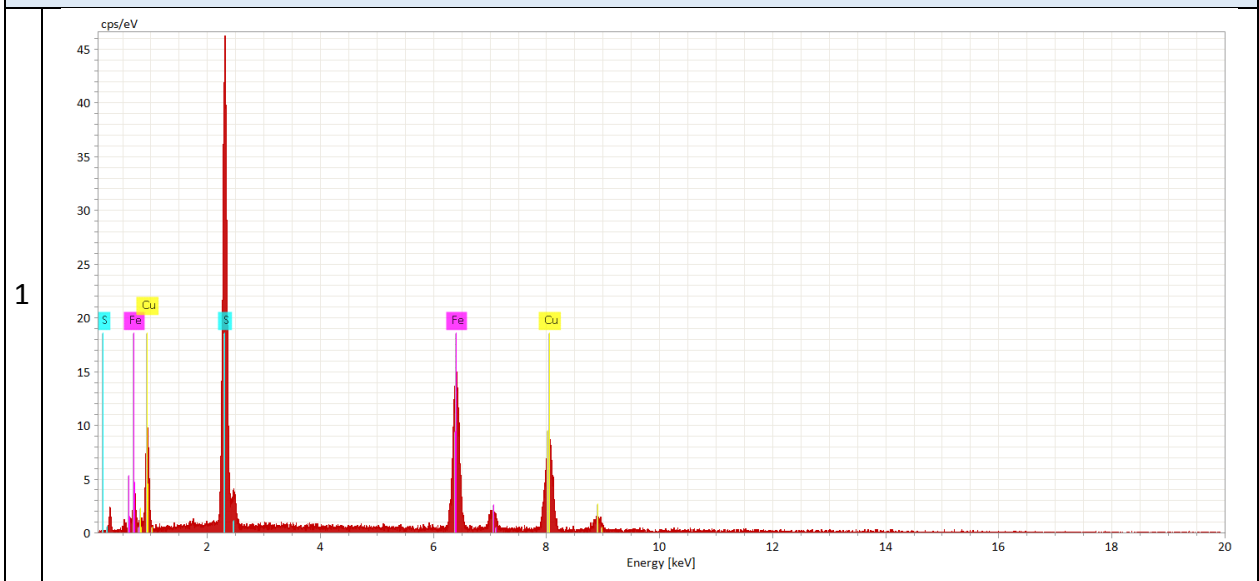
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	$CuFeS_2$	

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-12-4
LOCALIDAD CERRO CASALE

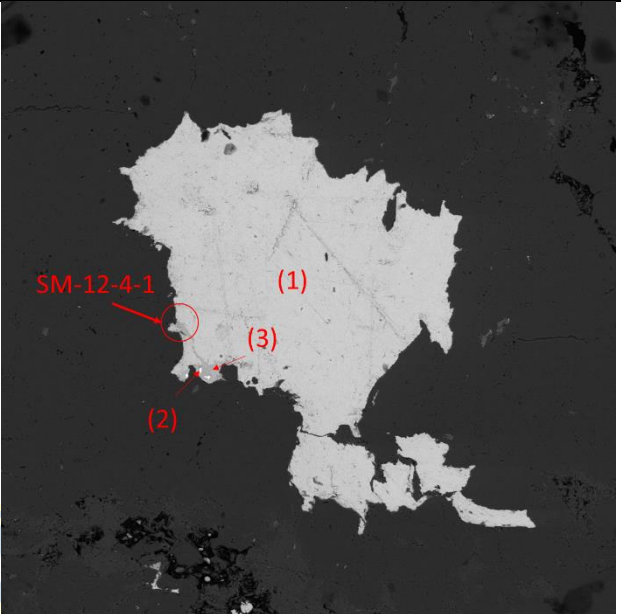
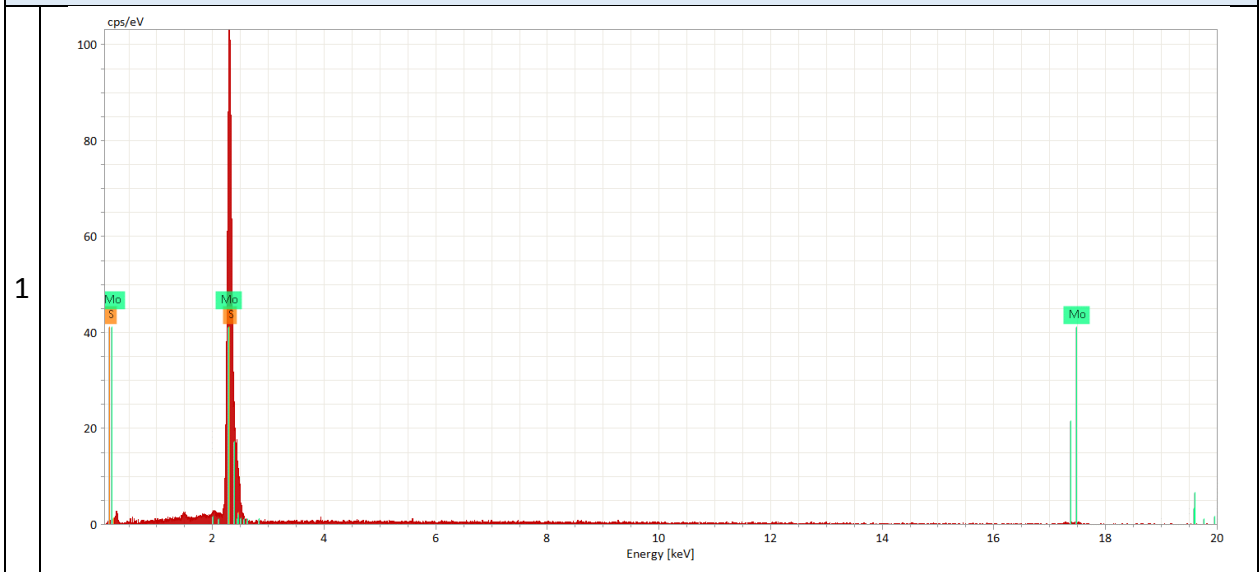
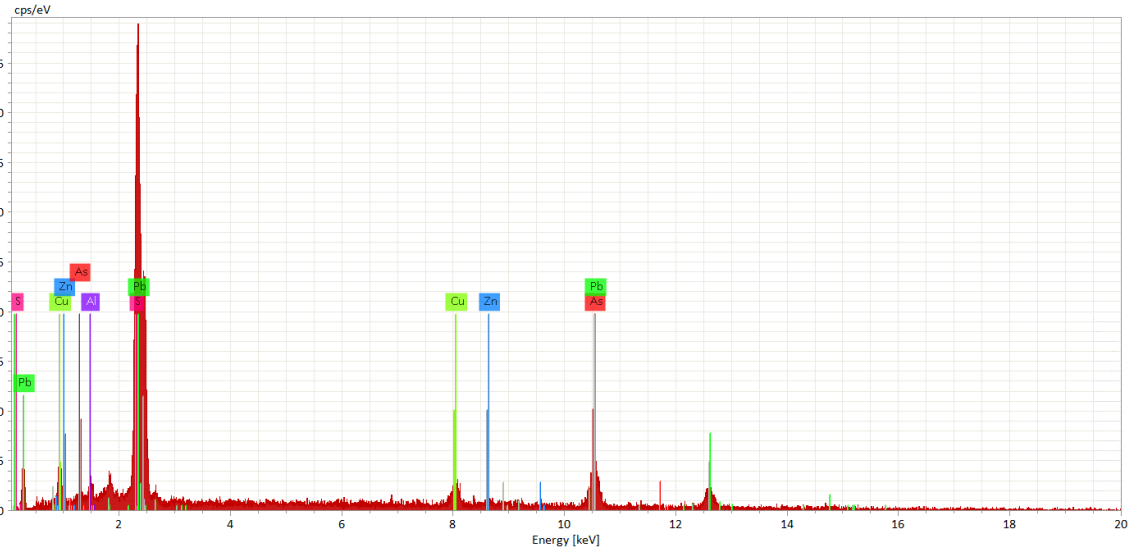
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Molibdenita	MoS ₂	 <p>SEM MAG: 292 x WD: 18.18 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 200 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-12 grano4 Instituto GEA</p>
2	Galena	PbS	
3	Esfalerita	ZnS	

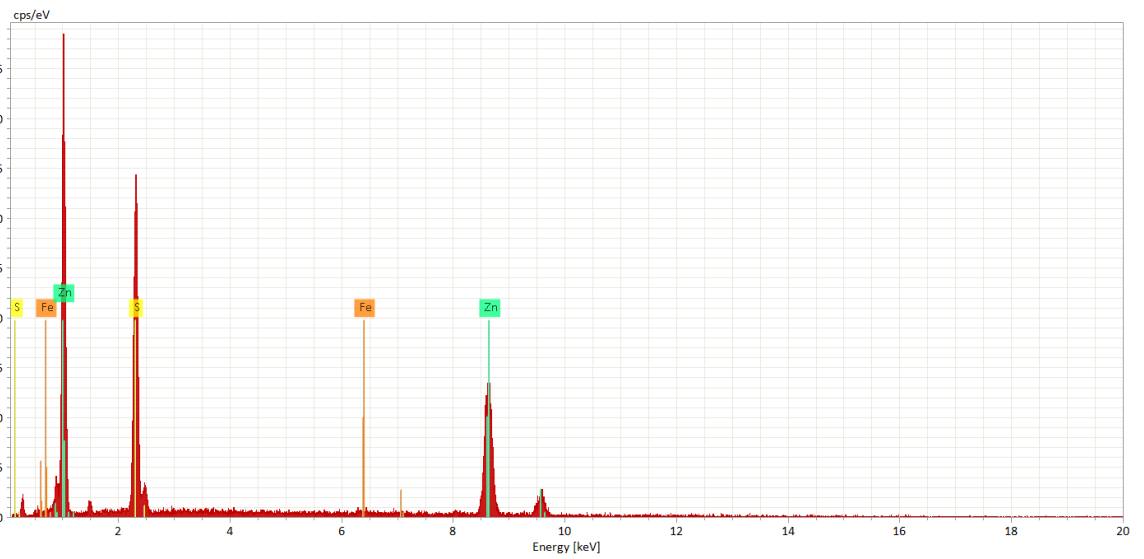
Diagrama de Composición Elemental



2



3



MUESTRA SM-12-4-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

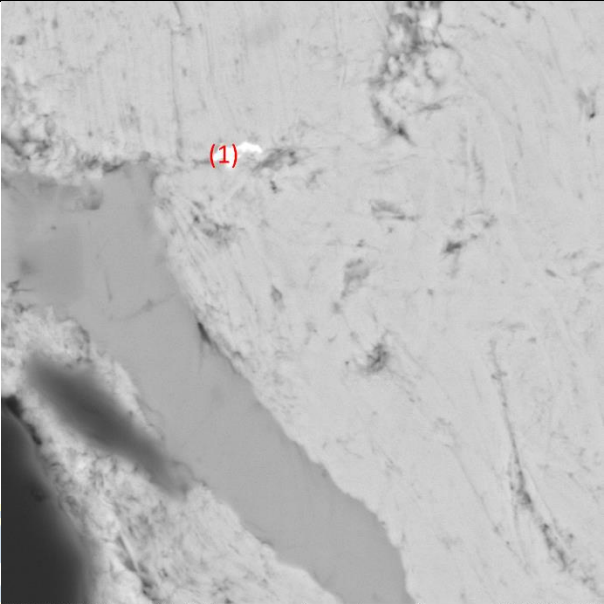
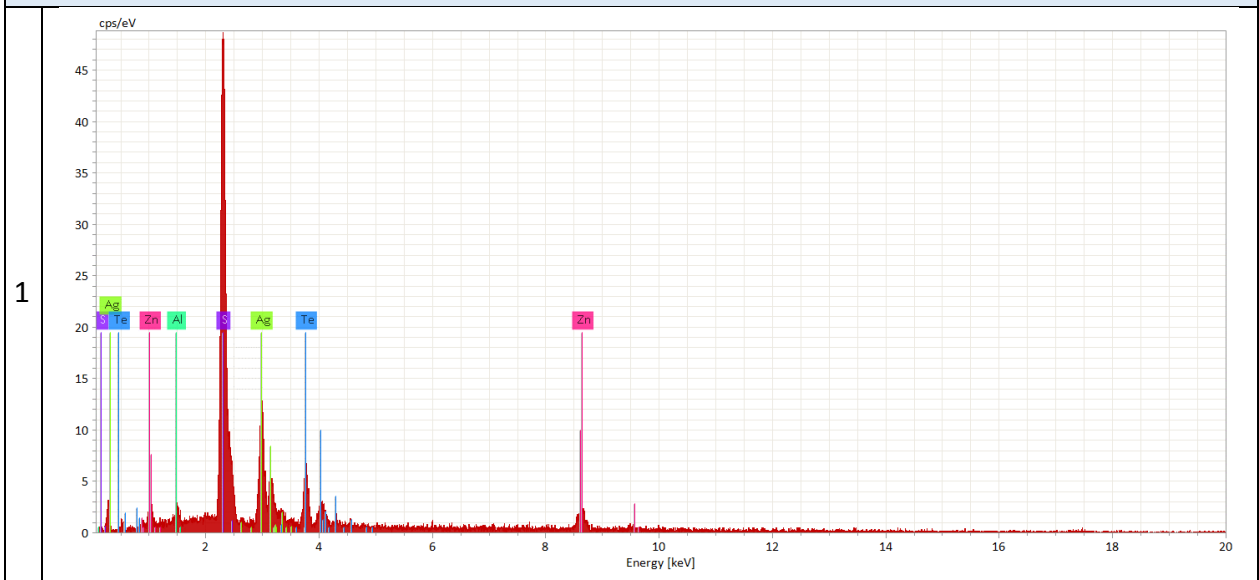
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Argentita	Ag ₂ S	 <p>SEM MAG: 7.77 kx WD: 18.23 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 5 μm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-12 grano4-2 VEGA II TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-12-5
LOCALIDAD CERRO CASALE

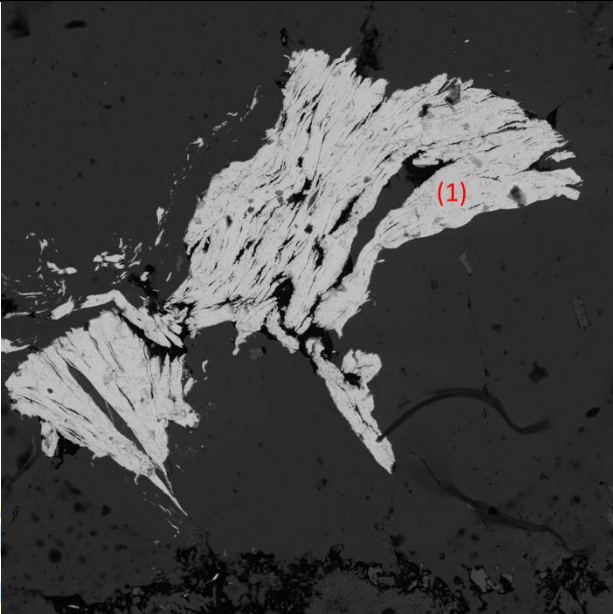
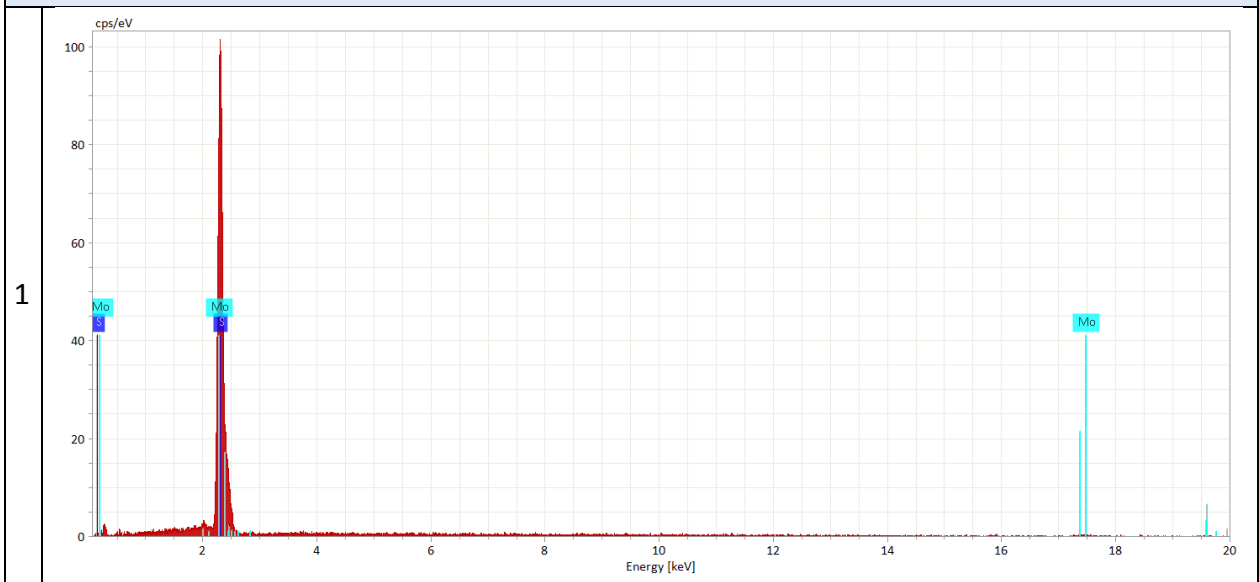
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Molibdenita	MoS_2	 <p>SEM MAG: 258 x WD: 18.23 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 200 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-12 grano5 Instituto GEA</p>

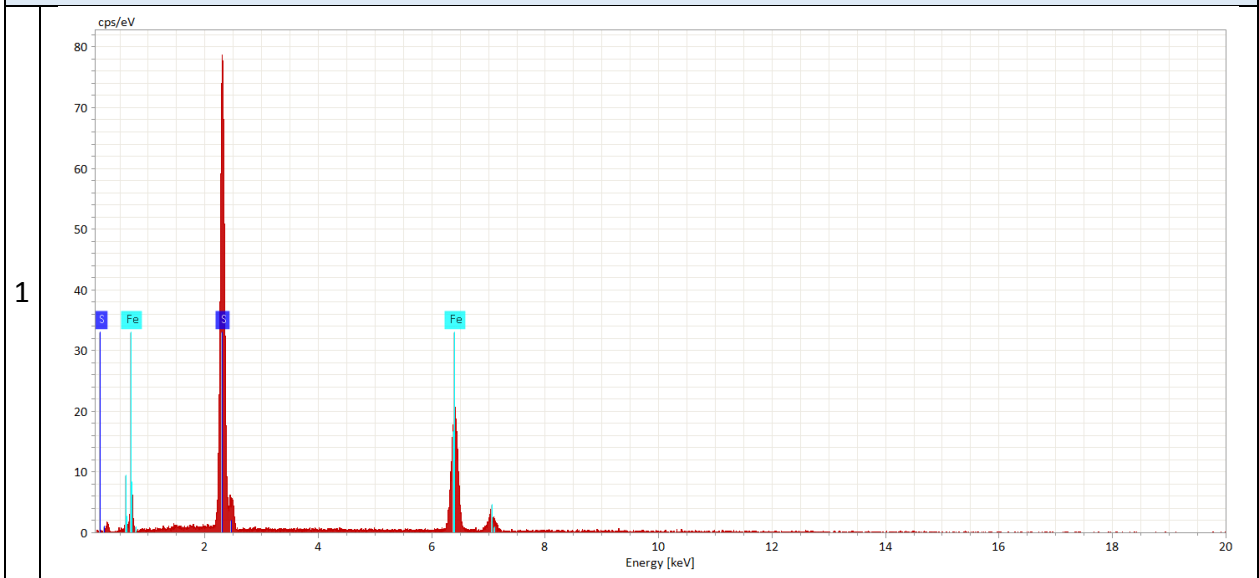
Diagrama de Composición Elemental



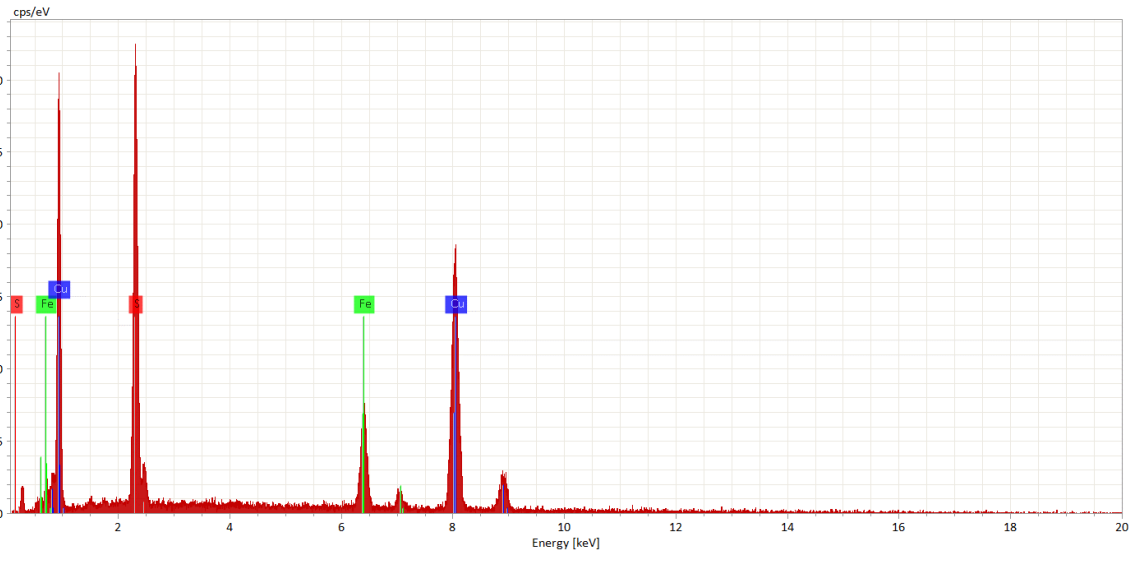
MUESTRA SM-12-6
LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Pirita	FeS ₂	
2	Bornita	Cu ₅ FeS ₄	
3	Galena	PbS	

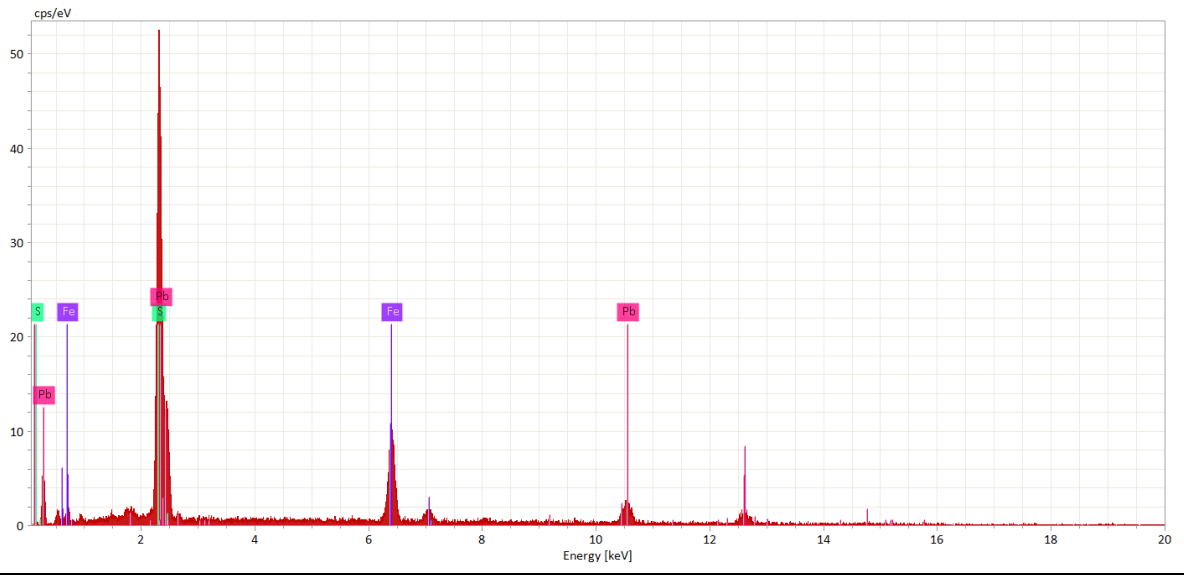
Diagrama de Composición Elemental



2



3



MUESTRA SM-12-6-1
 LOCALIDAD CERRO CASALE

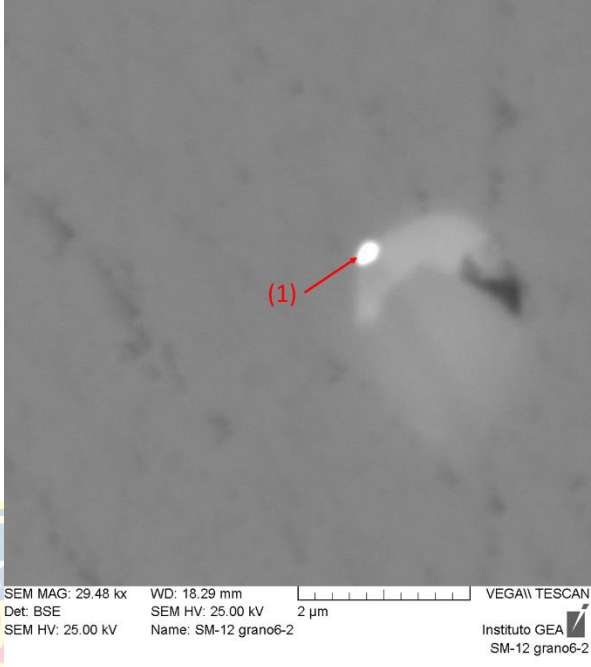
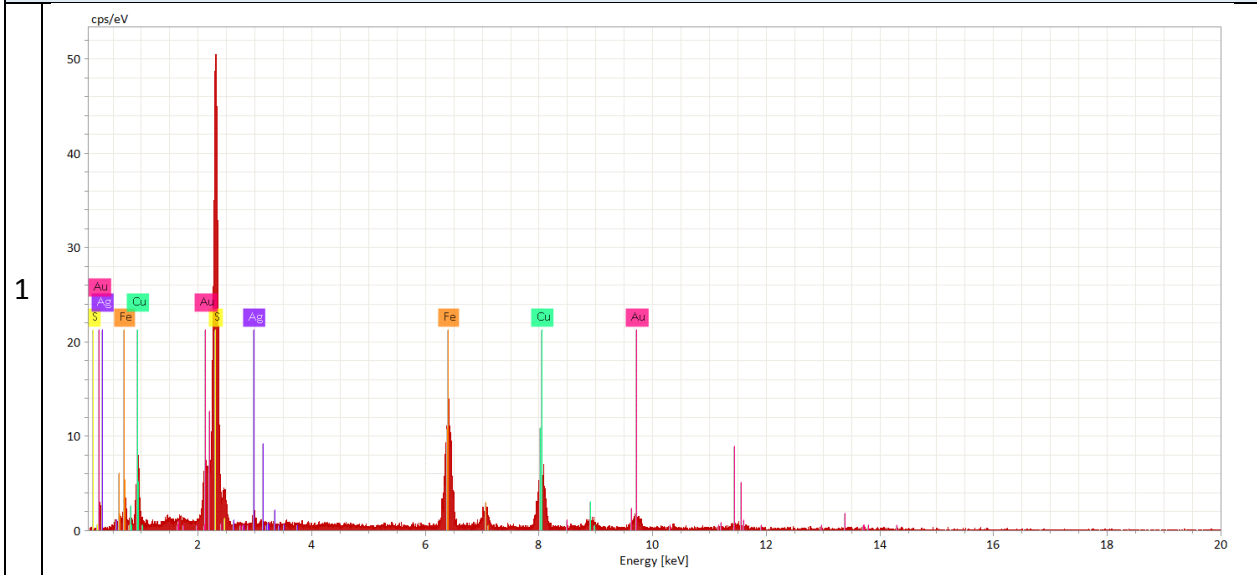
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Oro	Au	

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-14-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

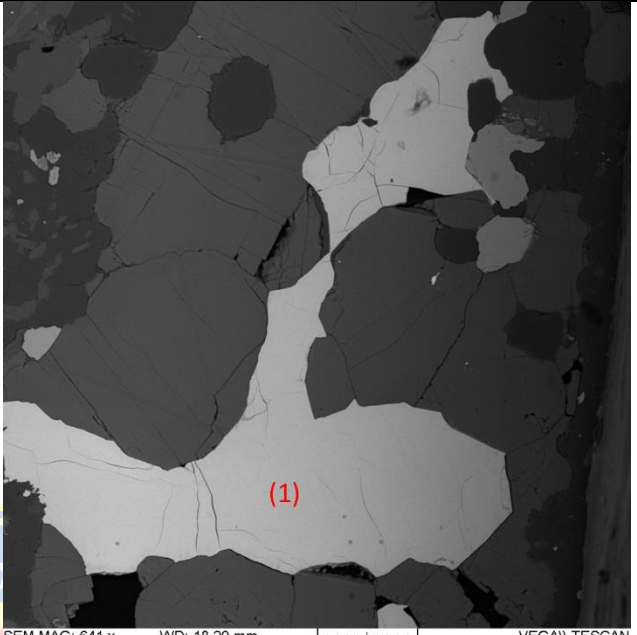
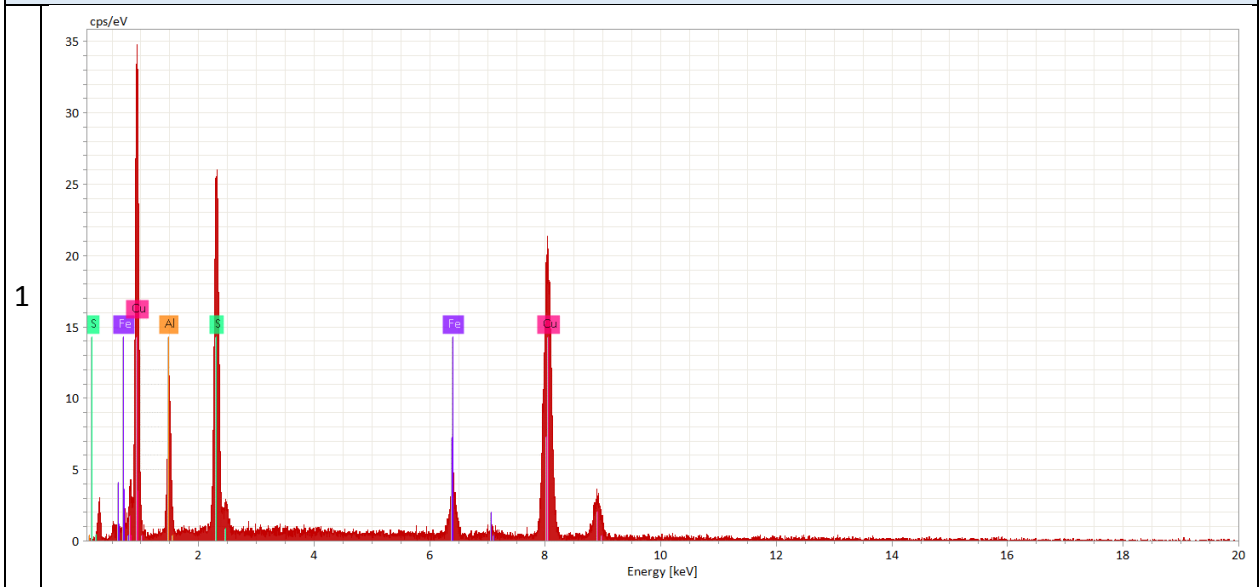
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Calcopirita	$CuFeS_2$	 <p>SEM MAG: 641 x WD: 18.29 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: 50 μm</p> <p>VEGA\\ TESCAN Instituto GEA</p>

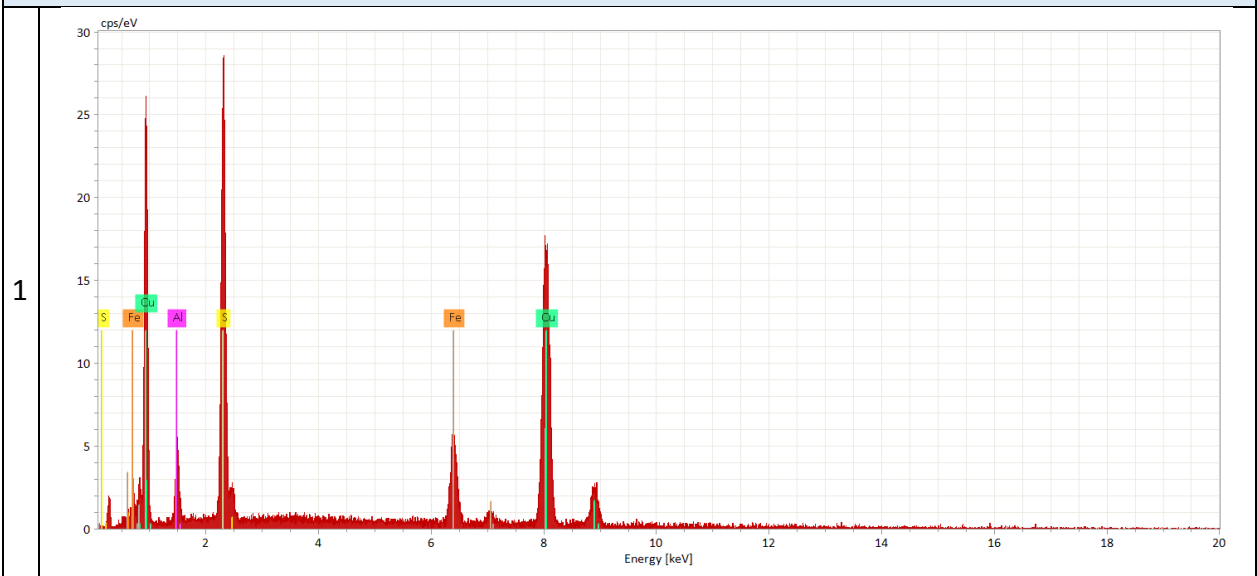
Diagrama de Composición Elemental



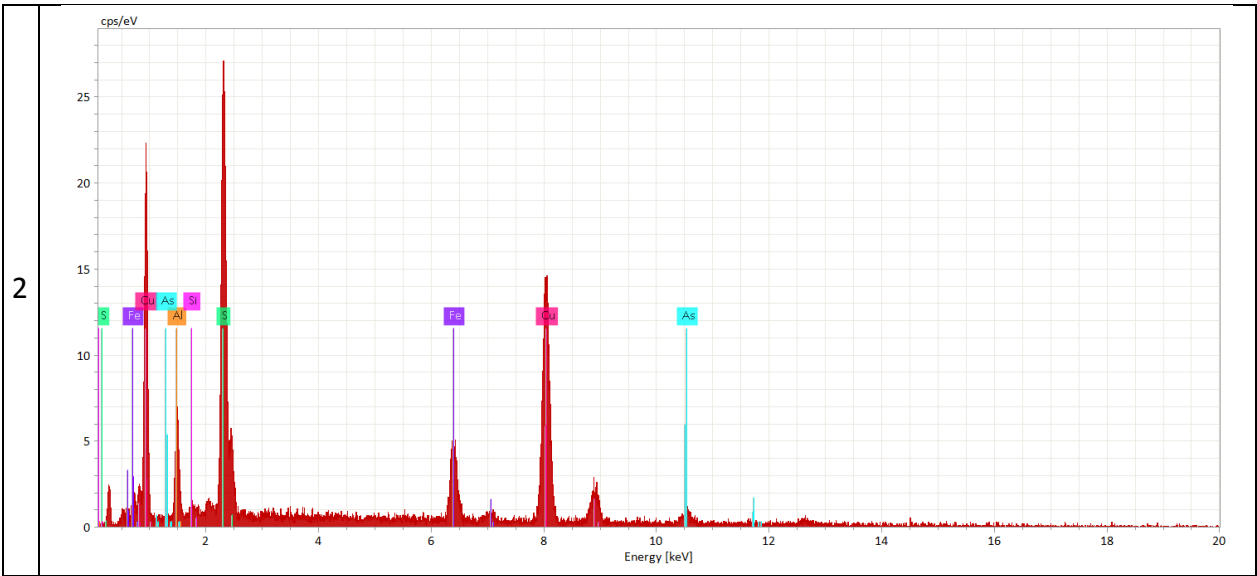
MUESTRA SM-14-2
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Bornita	Cu_5FeS_4	
2	Tenantita	$Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]As_4S_{13}$	

Diagrama de Composición Elemental



2



MUESTRA SM-14-3
LOCALIDAD CERRO CASALE

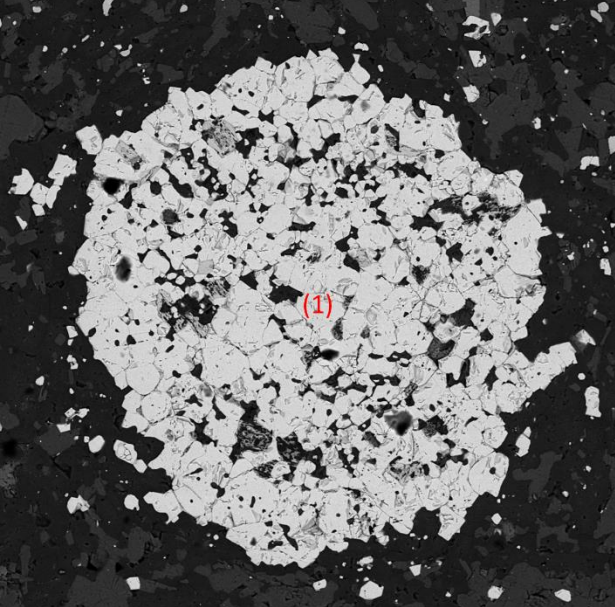
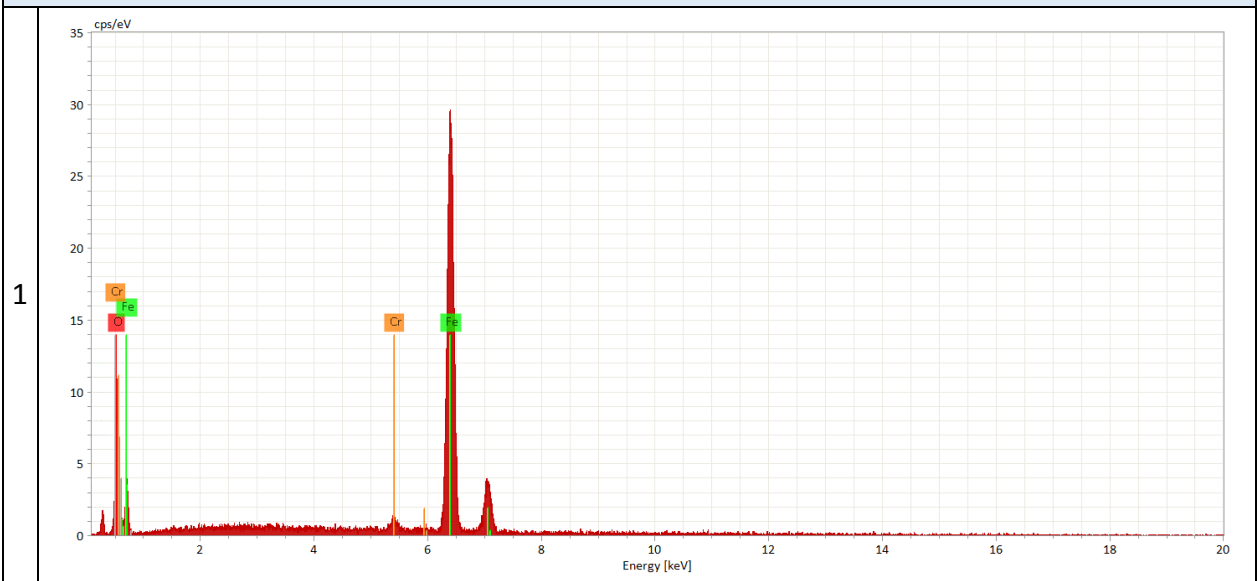
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Hematita	Fe_2O_3	 <p>SEM MAG: 540 x WD: 16.74 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 100 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-14 grano3 Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-14-4
LOCALIDAD CERRO CASALE


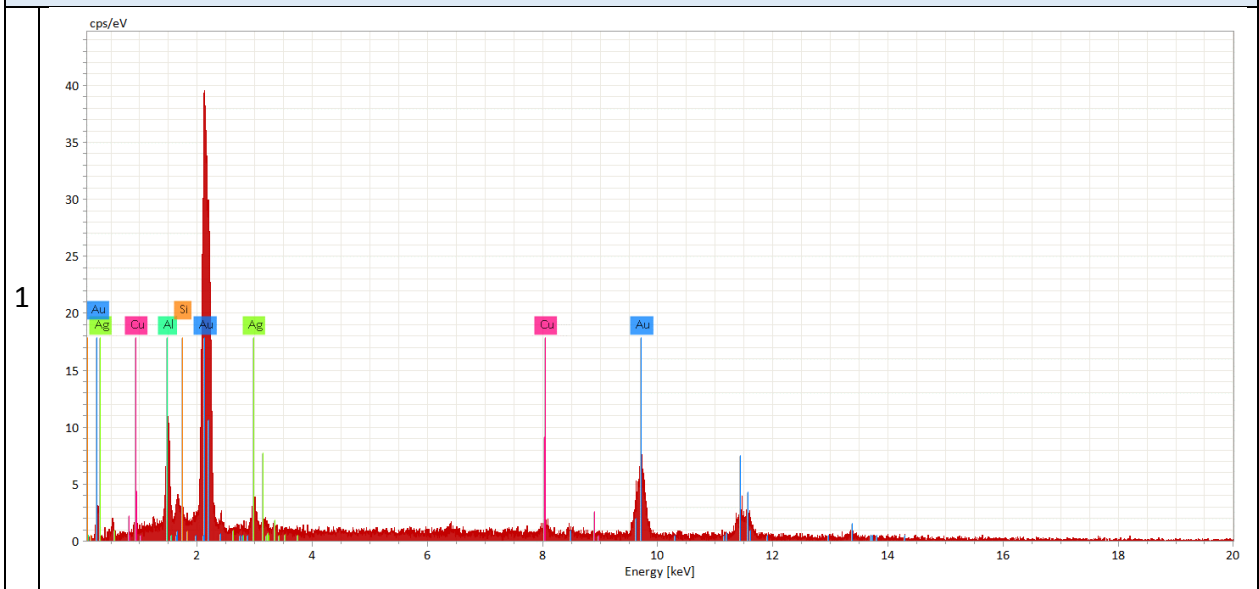
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Oro	Au	

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-14-5
LOCALIDAD CERRO CASALE

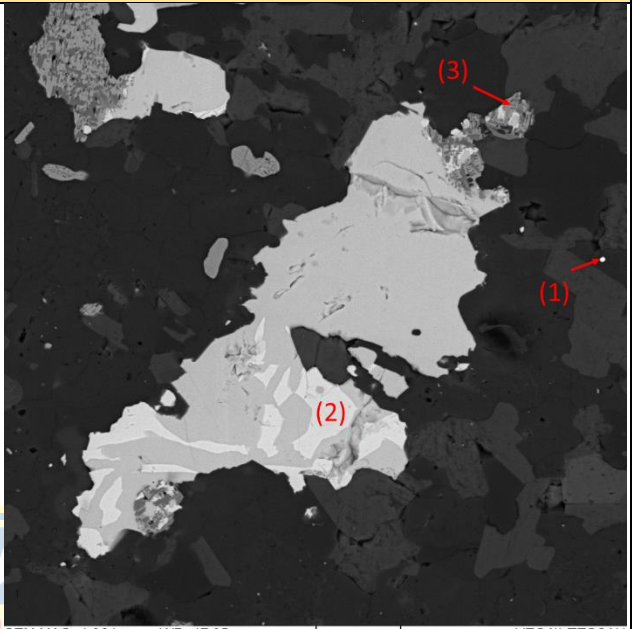
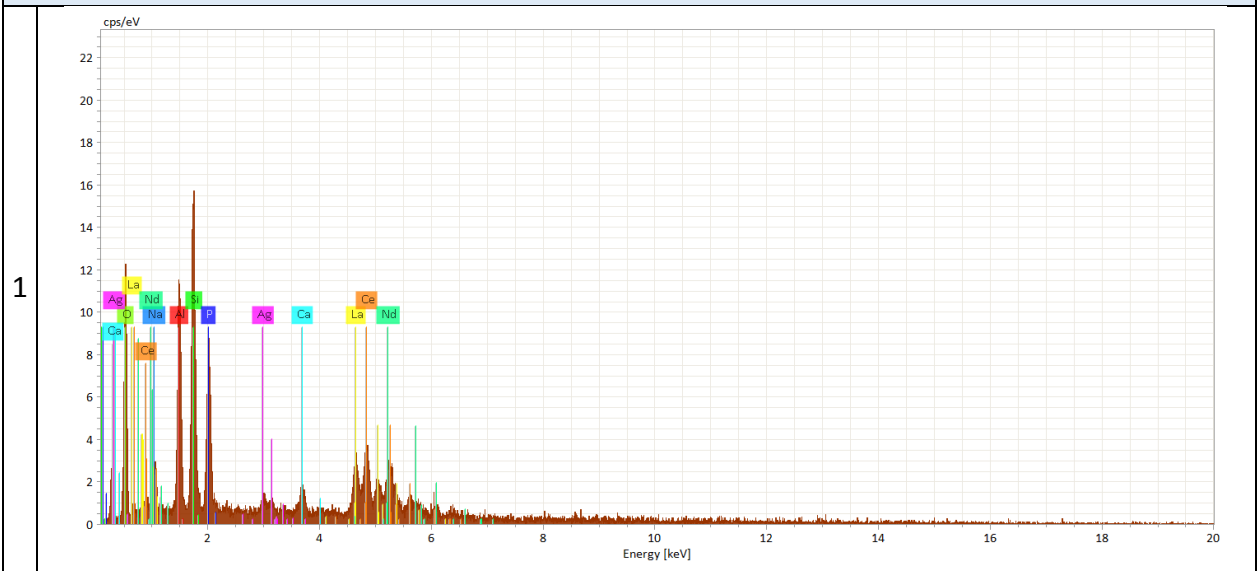
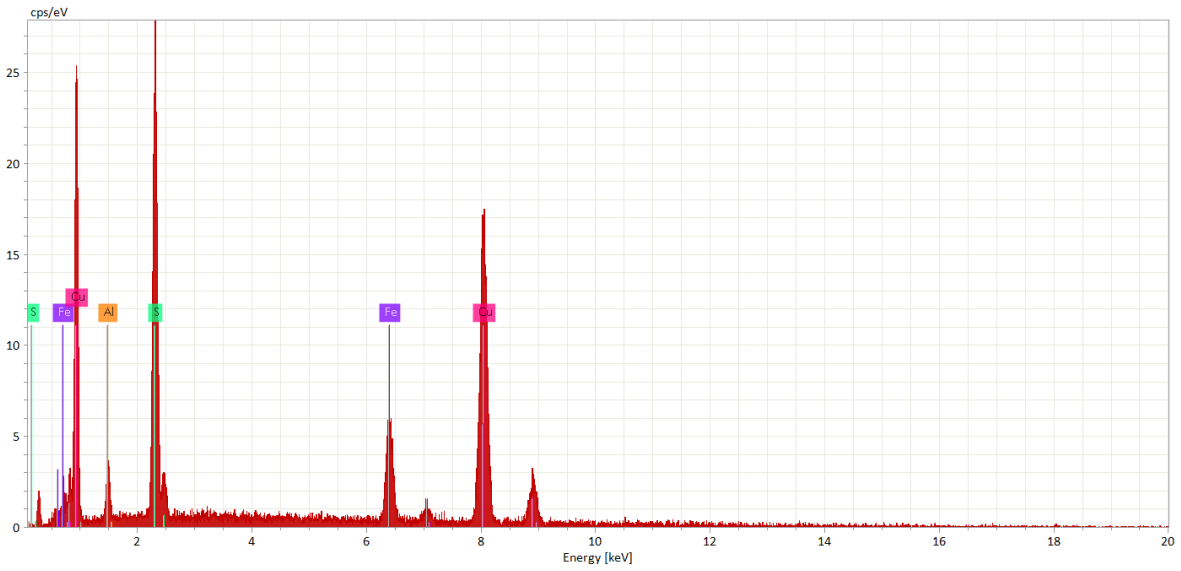
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Monacita	(La, Ce, Nd)PO ₄	 <p>SEM MAG: 1.36 kx WD: 17.35 mm VEGA\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 20 µm SEM HV: 25.00 kV Name: SM-14 grano5 Instituto GEA</p>
2	Bornita	Cu ₅ FeS ₄	
3	Ilmenita	FeTiO ₃	

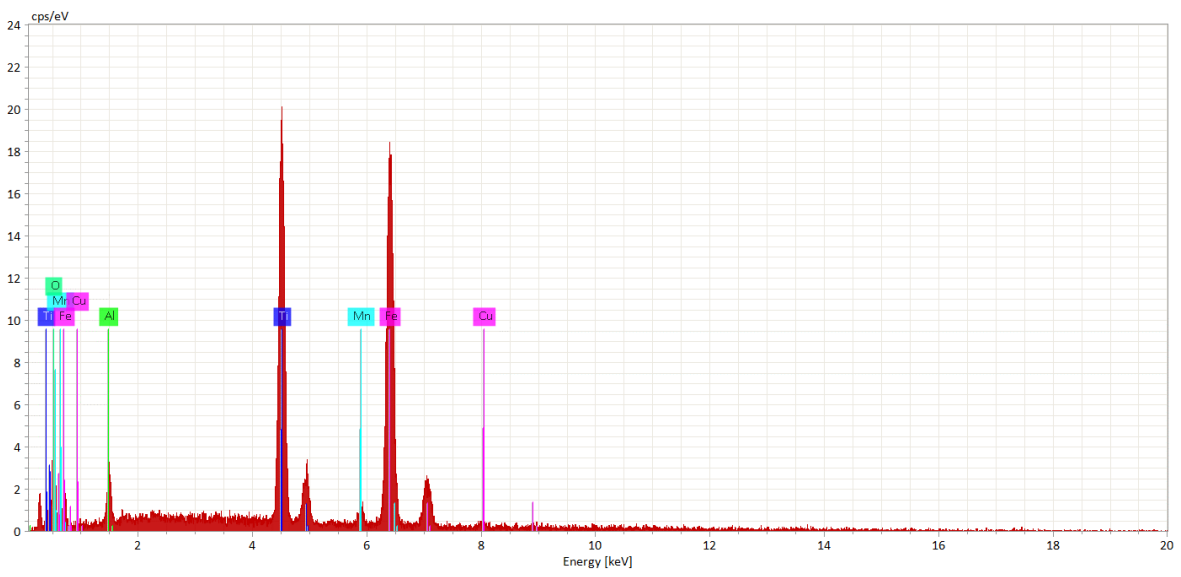
Diagrama de Composición Elemental



2



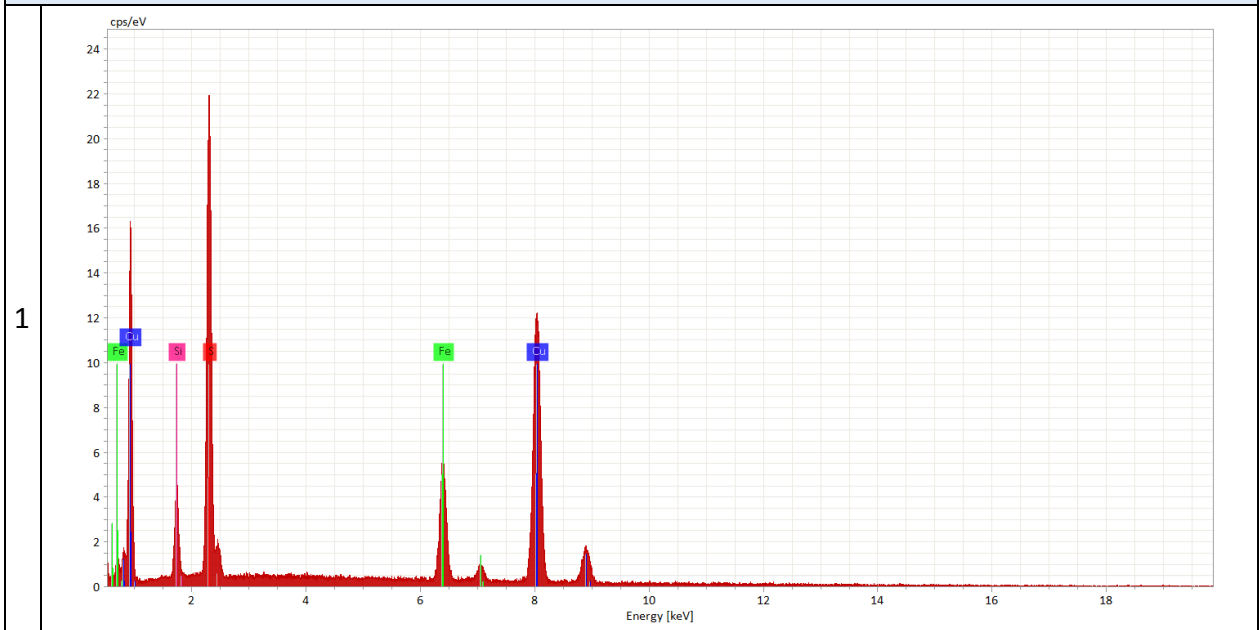
3



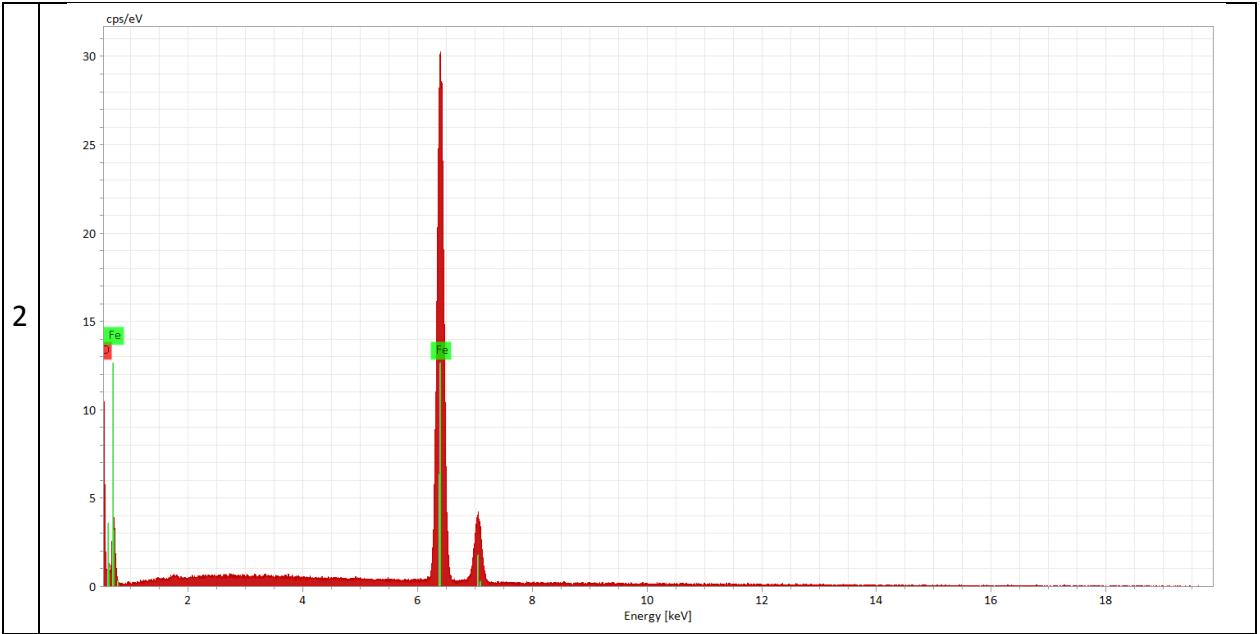
MUESTRA SM-19-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Bornita	Cu_5FeS_4	
2	Especlarita	Fe_2O_3	

Diagrama de Composición Elemental



2



MUESTRA SM-19-2
LOCALIDAD CERRO CASALE

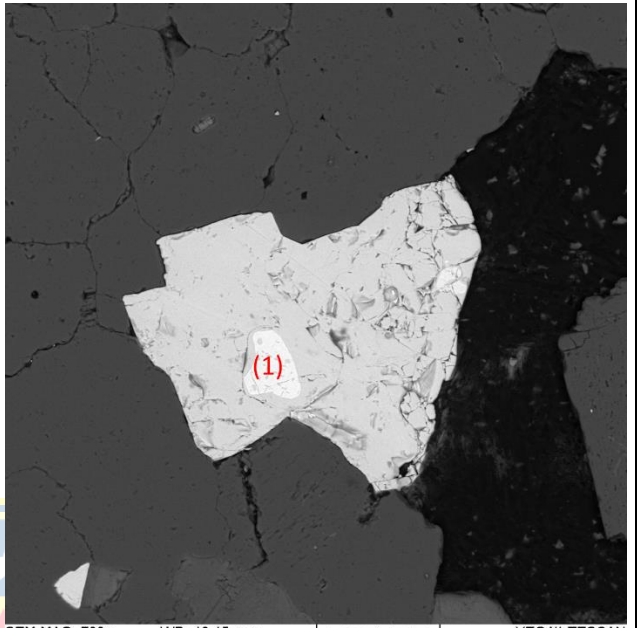
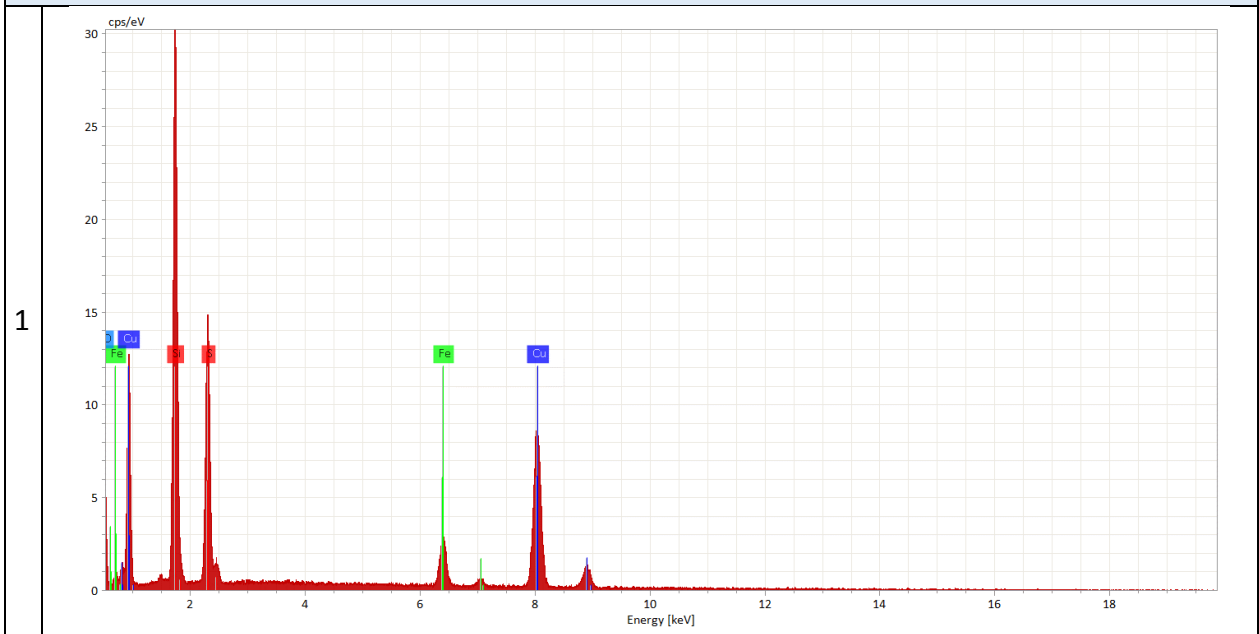
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Bornita	Cu_5FeS_4	 <p>SEM MAG: 799 x WD: 18.15 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-19 Gran02</p> <p>VEGAW TESCAN Instituto GEA</p>

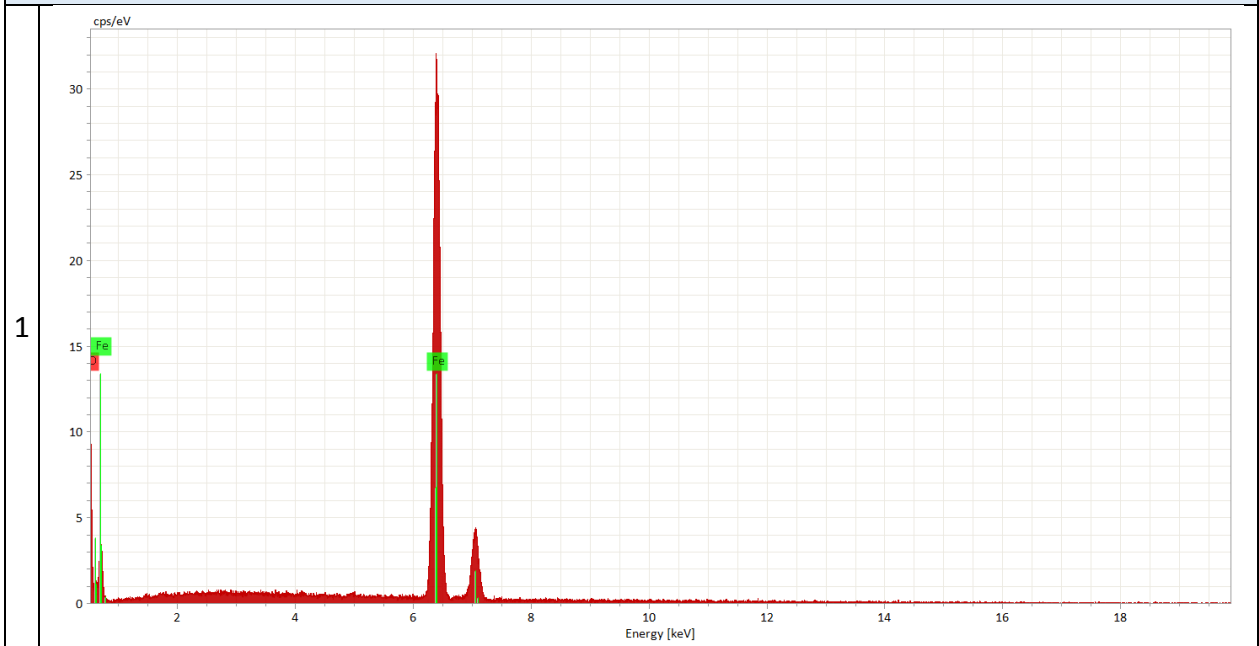
Diagrama de Composición Elemental



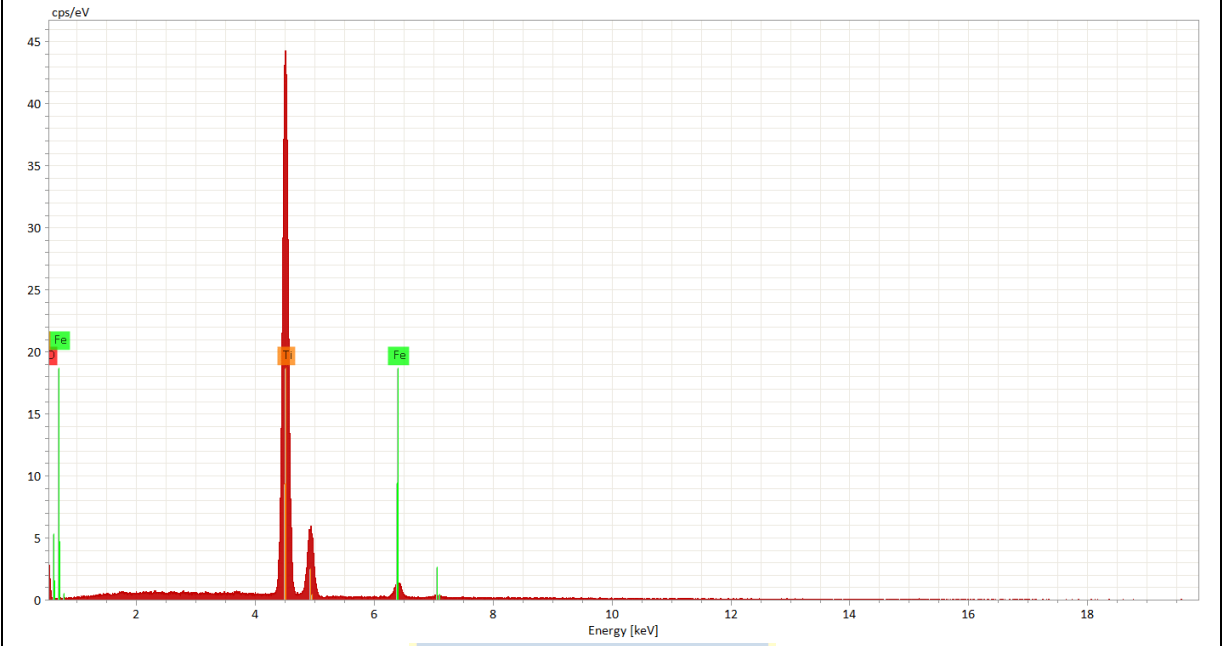
MUESTRA SM-19-3
 LOCALIDAD CERRO CASALE

n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Hematita	Fe ₂ O ₃	<p>SEM MAG: 644 x WD: 17.77 mm VEGA\\ TESCAN Det: BSE SEM HV: 25.00 kV 50 µm SEM HV: 25.00 kV Name: Instituto GEA</p>
2	Ilmenita	FeTiO ₃	
3	Hematita	Fe ₂ O ₃	

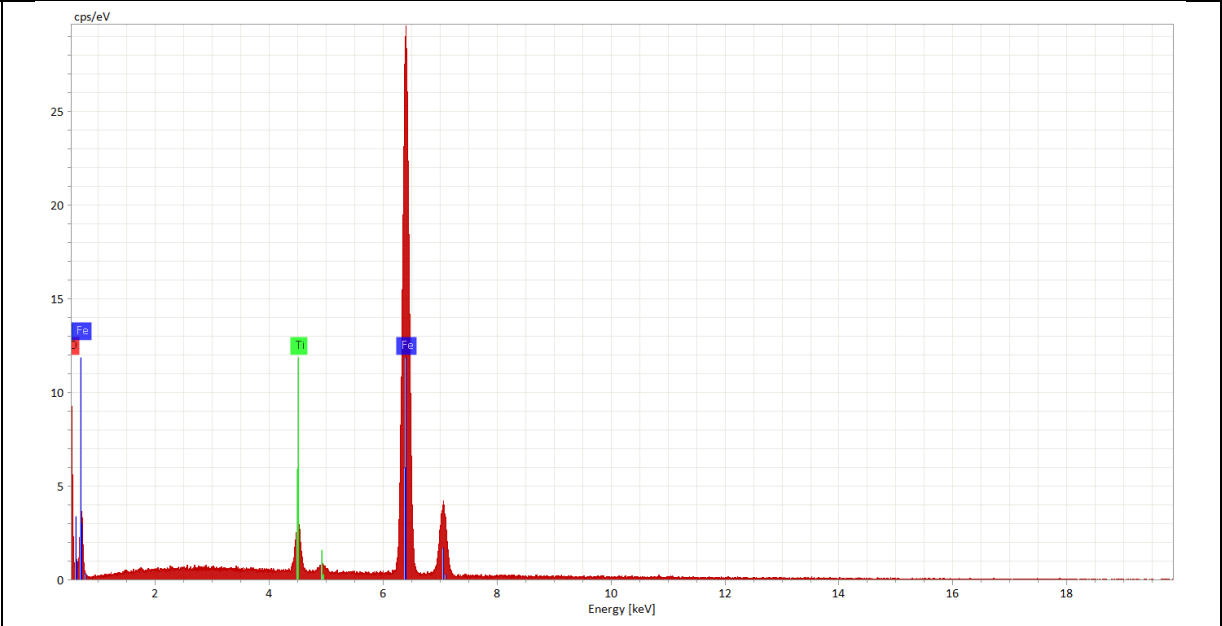
Diagrama de Composición Elemental



2



3



MUESTRA SM-19-4
LOCALIDAD CERRO CASALE

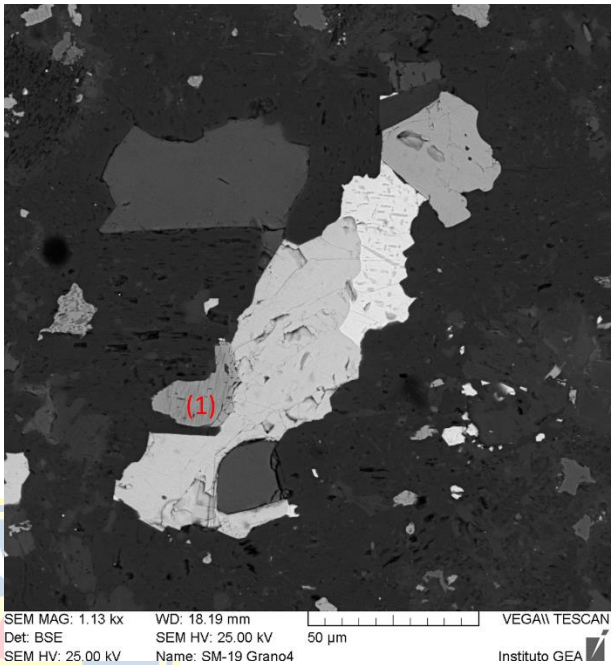
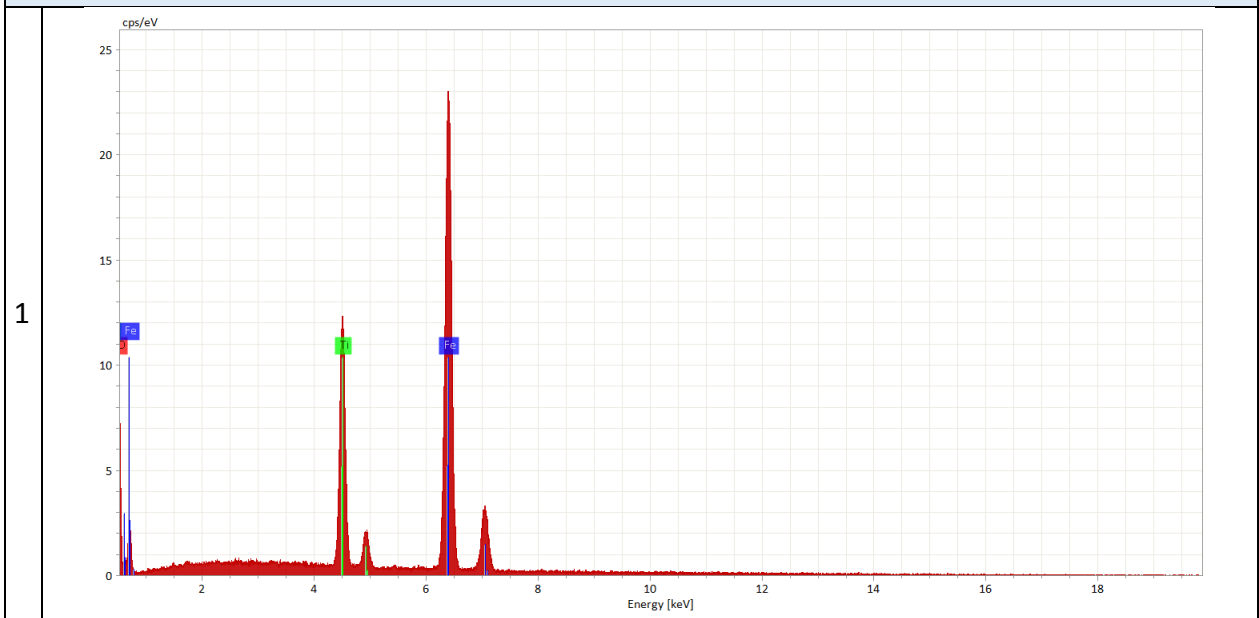
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Magnetita	Fe_3O_4	

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-20-1
LOCALIDAD CERRO CASALE

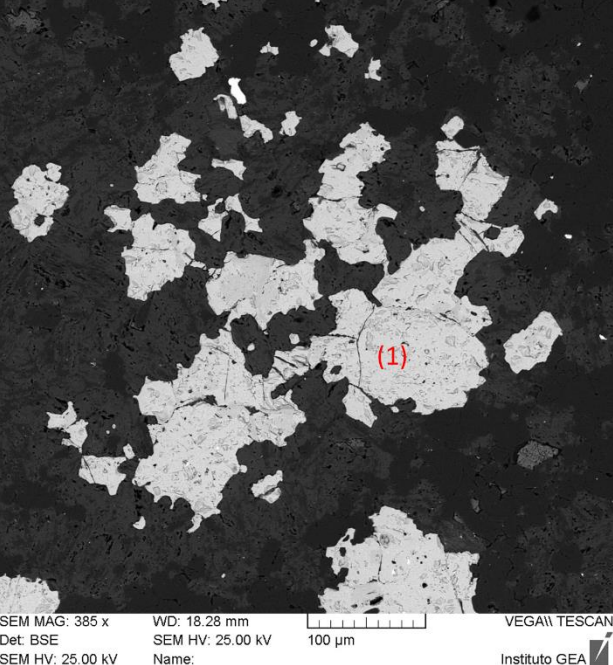
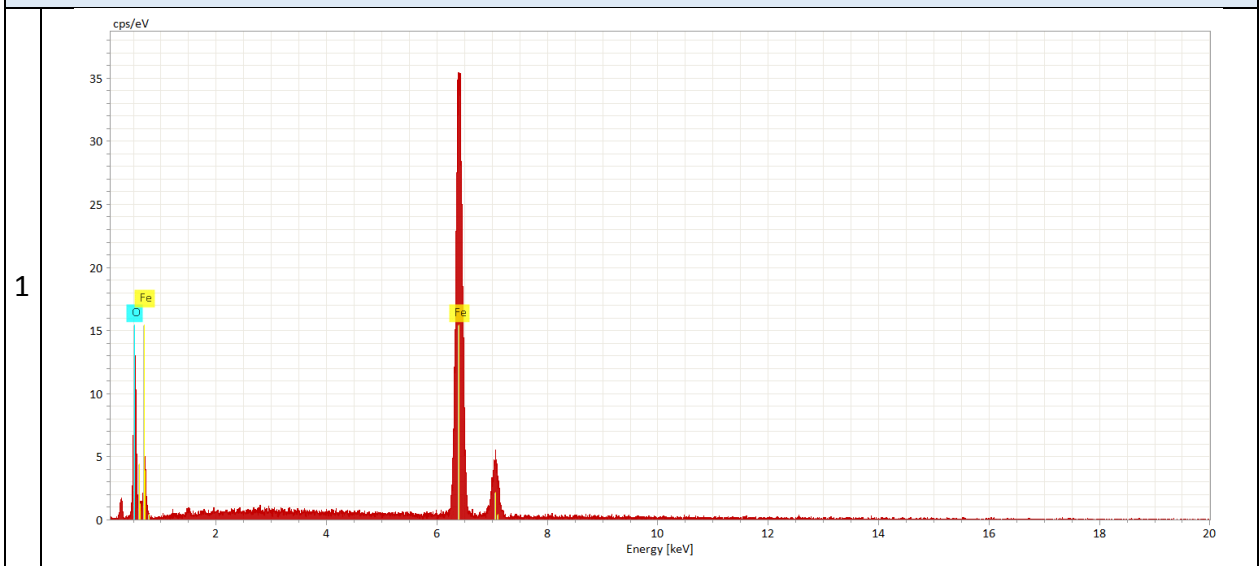
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Hematita	Fe_2O_3	

Diagrama de Composición Elemental



MUESTRA SM-20-2
LOCALIDAD CERRO CASALE

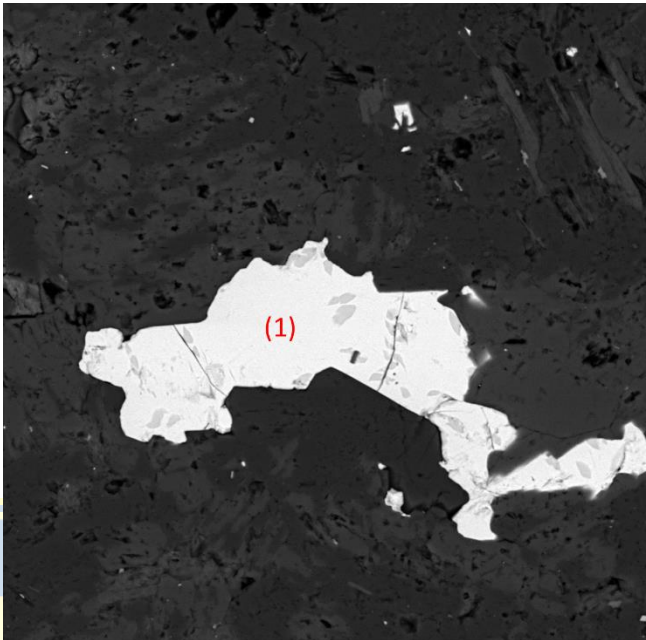
n°	Mineral	Formula Química	Fotomicrografía BSE
1	Bornita	Cu_5FeS_4	 <p>SEM MAG: 1.38 kx WD: 17.23 mm Det: BSE SEM HV: 25.00 kV SEM HV: 25.00 kV Name: SM-20 grano2</p> <p>VEGA II TESCAN Instituto GEA</p>

Diagrama de Composición Elemental

