

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**EL PAPEL DE LOS CUERPOS MASIVOS DE ANHIDRITA EN LA  
MINERALIZACIÓN POLIMETÁLICA DE TIPO CORDILLERANO  
DEL DISTRITO DE MOROCOCHA, PERÚ: MODELAMIENTO  
GEOLÓGICO 3D, ESTUDIO MINERALÓGICO E ISOTÓPICO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo**

**AUTORA:**

Silvana Janeth Stipetich Santillan

**ASESOR:**

Jean Francois Victor Vallance

Lima, junio, 2024


## Informe de Similitud

Yo, **Jean Francois Victor VALLANCE**, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis “**el papel de los cuerpos masivos de anhidrita en la mineralización polimetálica de tipo cordillerano del distrito de Morococha, Perú: modelamiento geológico 3d, estudio mineralógico e isotópico**”, del autor **Silvana Janeth Stipetich Santillan**,dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 28%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 10/06/2024. El alto nivel de similitud encontrado en la tesis se debe al hecho de que el presente trabajo es la prolongación de la tesis de bachiller del mismo autor. Partes del estudio como la presentación del marco geológico son similares tratándose de descripción de geología regional.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Toul, Francia, el 10 de junio de 2024

.....

|  |   |
|--|---|
| Apellidos y nombres del asesor:<br><u>Vallance, Jean Francois Victor</u> |   |
| CE: 000687831  | Firma<br> |
| ORCID: 0000-0002-3242-8242   |   |

## RESUMEN

En el distrito minero de Morococha, cuerpos masivos de anhidrita hospedados en las rocas carbonatadas de la base de la Formación Chambará, próximos al contacto discordante con el Grupo Mitu, presentan indicios de haber sufrido fases de disolución, reemplazamiento y removilización, alguna de las cuales, estaría asociada a un proceso de mineralización polimetálica de tipo Cordillerana. La posición estratigráfica de los sulfatos y el agrupamiento de la mayoría de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  (0.28 a 1.88 ‰; 20.99 a 23.43‰;  $\sim$ 0.7081; y de 13.9 a 16.3 ‰, respectivamente) sugieren que los cuerpos de anhidrita corresponden a evaporitas marinas del Noriano de la base del Grupo Pucará. Los valores más altos de  $\delta^{34}\text{S}$  (hasta 22.3 ‰) y  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  (hasta 0.7161) son registrados localmente en anhidrita espacialmente asociada a vetas mineralizadas, y reflejan una interacción entre fluidos magmático-hidrotermales del Mioceno y las rocas del basamento. Los estudios de microscopía óptica en vetas y cuerpos de reemplazamiento (Veta Morro Solar y Manto Ivette, respectivamente) indican un primer estadio de mineralización de cuarzo-pirita seguido por un estudio de cristalización de minerales de metales de base y subsecuentemente por un estadio rico en carbonatos hidrotermales acompañados por sulfosales y telururos ricos en Ag. Las firmas de isótopos de azufre de los sulfuros coexistentes a los sulfatos estudiados sugieren una contribución dominante de azufre de origen magmático, probablemente mezclado con una proporción menor de azufre de sulfato evaporítico reducido a alta temperatura en las partes profundas del sistema hidrotermal.

Este reconocimiento de la relación genética y espacial de los cuerpos de anhidrita con la mineralización polimetálica abre un nuevo campo prospectivo en el distrito de Morococha, con potencial para aplicarse en otros yacimientos con contenidos importantes de niveles de evaporita.

## AGRADECIMIENTO

Esta tesis va dedicada a toda mi familia por ser mi roca y motor, en especial a mis padres Zulema Santillán, Alvelda Orbegoso y Ulises Santillán, por su amor incondicional, esfuerzo y sacrificio; y a mi hermana y compañera Ana Paula.

También agradezco a mis profesores por las enseñanzas indispensables para mi formación profesional; especialmente, a Jean Vallance por su asesoría, paciencia y confianza, sin la cual hubiese sido imposible llevar a cabo esta investigación. A Lisard Torró por su apoyo y asesoría con los análisis de esta investigación. Y a mis jurados, Silvia Rosas y Fredrik Sahlström, por su tiempo y comentarios invaluable.

Así mismo, a mis amigos y soporte Álvaro Espinoza, Edinson Ramos, Gustavo Bravo, Pablo Valverde, Patrick Quispe y Robert Silva; y a mi novio Jhordan Rabanal por su compañía, motivación y amor.

Finalmente, agradezco a la empresa Pan American Silver Corp. por brindar las muestras e información necesaria para realizar la presente investigación, especialmente a los ingenieros Rubén Díaz, Abel Zorrilla, Erick Valencia, Julio Zárate y Jessica Huamantalla por su asistencia profesional y colaboración.

La presente investigación fue financiada por el Programa de Apoyo al Desarrollo de Tesis de Licenciatura (PADET 2019) y el Concurso Anual de Investigaciones Científicas (CAP2020) otorgado por la PUCP.

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 1.1. Contexto General.....  | 1  |
| 1.2. Problemática.....  | 2  |
| 1.3. Objetivos del trabajo .....  | 4  |
| 1.3.1. Objetivo general.....  | 4  |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....  | 4  |
| 1.4. Hipótesis.....   | 5  |
| 1.1. Justificación.....   | 5  |
| 1.1. Antecedentes .....   | 6  |
| 1.1.1. El “Complejo de Anhidritas” de Morococha (MAC) .....   | 6  |
| 1.1.2. Asociación espacial de las anhidritas con las vetas y cuerpos de<br>reemplazamiento de Morococha ..... | 10 |
| 2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....  | 14 |
| 2.1. Situación Geográfica .....   | 14 |
| 2.2. Situación geodinámica .....  | 14 |
| 2.3. Geología regional .....  | 19 |
| 2.3.1. Grupo Excelsior .....  | 20 |
| 2.3.2. Grupo Mitu.....  | 21 |
| 2.3.3. Grupo Pucará .....   | 23 |
| 2.3.4. Grupo Goyllarisquizga.....   | 30 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.3.5. | Unidades del Cretácico Superior .....                                     | 31 |
| 2.4.   | Geología del yacimiento.....  | 32 |
| 2.4.1. | Centros magmáticos hidrotermales del Mioceno Tardío .....                 | 34 |
| 2.4.2. | Estilo hidrotermal de mineralización .....                                | 37 |
| 3.     | METODOLOGÍA: MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS .....                         | 41 |
| 3.1.   | Trabajo de Campo .....  | 41 |
| 3.2.   | Análisis de laboratorio .....   | 42 |
| 3.2.1. | Microscopía óptica.....   | 43 |
| 3.2.2. | Difracción de Rayos X (DRX).....  | 43 |
| 3.2.3. | Geoquímica de isótopos .....  | 44 |
| 3.3.   | Análisis del modelo geológico 3D de Morococha .....                       | 46 |
| 4.     | RESULTADOS.....   | 47 |
| 4.1.   | El MAC y sus asociaciones con los cuerpos minerales de Morococha .....    | 47 |
| 4.1.   | Microscopía óptica .....  | 50 |
| 4.1.   | Secuencia paragenética .....  | 57 |
| 4.2.   | Difracción de rayos X .....   | 61 |
| 4.1.   | Geoquímica de isótopos .....  | 61 |
| 5.     | DISCUSIÓN .....   | 62 |
| 5.1.   | El MAC y sus asociaciones con los cuerpos mineralizados de Morococha..... | 62 |
| 5.1.   | Secuencia paragenética .....  | 63 |
| 5.1.   | Geoquímica de isótopos .....  | 65 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 6. CONCLUSIONES..... | 68  |
| 7. REFERENCIAS.....  | 70  |
| ANEXO 1.....         | 78  |
| ANEXO 2.....         | 89  |
| ANEXO 3.....         | 216 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-1:</b> Secciones verticales Norte-Sur y Este-Oeste que muestran el MAC (Modificado de Nagell, 1957).....   | 9  |
| <b>Figura 1-2:</b> Secciones verticales Este-Oeste, en la zona de Alapampa y Codiciada (Modificado de Haapala, 1953). .....  | 9  |
| <b>Figura 1-3:</b> Mapa geológico de la distribución y zonación de la mineralización del distrito minero de Morococha, en los alrededores del pórfido de Toromocho y en el nivel 400 de la mina (Vallance, 2015; modificado de Catchpole, 2011). .....   | 12 |
| <b>Figura 1-4:</b> Plano geológico de los dos cuerpos del Cuerpo Esperanza en el Nivel 160. Izquierda: cuerpo Norte, derecha: cuerpo Sur (Vallance, 2005). .....   | 12 |
| <b>Figura 1-5:</b> Imágenes extraídas del informe interno de Cuerpo Esperanza realizado por Vallance (2015). a. Remanente de anhidrita masiva dentro de un cuerpo de cuarzo-pirita con acumulación de calcopirita al contacto entre ambas. b. Transición de un “remanente” de anhidrita masiva hacia una veta que corta el cuerpo de cuarzo-pirita. El borde de la veta está marcado por un ribete beige-marrón de carbonatos y un ribete externo de esfalerita. c. Brecha cementada por anhidrita y clastos de mármol con recristalización parcial a carbonatos de color beige. d. Localmente, en la brecha con cemento de anhidrita, los ribetes de carbonatos (marrón |    |

rojizo) de los clastos pueden ser potentes. Los clastos de mármol recristalizados pueden presentar cavidades que corresponden a zonas de disolución de grandes cristales de yeso. Abreviaciones empleadas: anh = anhidrita, cb = carbonatos, py = pirita, cpy = calcopirita, sph = esfalerita.....13

**Figura 2-1:** Mapa geológico del distrito minero de Morococha, con su ubicación respecto al Domo de Yauli. (Catchpole et al., 2015a). .....15

**Figura 2-2:** Mapa de la ubicación de MFTB y los diferentes yacimientos que hospeda. En el rectángulo amarillo se indica la localización del Distrito de Morococha (Scherrenberg et al., 2016). .....17

**Figura 2-3:** Sección regional y ubicación de la MFTB (Scherrenberg et al., 2016).....18

**Figura 2-4:** Mapa metalogenético de los Andes centrales (Fontboté, 2018). .....19

**Figura 2-5:** Resumen de los centros magmático-hidrotermales (contornos rojos) y eventos polimetálicos (contornos azules) en el sistema de Morococha (Catchpole et al., 2015a). .....32

**Figura 2-6:** Resumen de las edades de los eventos magmáticos hidrotermales, ocurridos durante el Mioceno medio al tardío, en el sistema magmático-hidrotermal de Morococha (Catchpole et al., 2015a). .....36

**Figura 3-1:** Mapa geológico del distrito minero de Morococha mostrando la ubicación de las vetas y cuerpos muestreados (modificado de Catchpole, 2015b). .....42

**Figura 4-1:** Mapa geológico simplificado de la parte norte del distrito de Morococha (modificado del reporte interno de Cia. Minera Argentum S.A). .....48

**Figura 4-2:** Sección longitudinal de la veta Morro Solar con proyección del Cuerpo Esperanza y del Manto Ivette (Pan American Silver, 2020). .....48

**Figura 4-3:** Vista tridimensional de la veta Morro Solar en el área de Cuerpo Esperanza y del Manto Ivette (Pan American Silver, 2020). .....49



**Figura 4-4:** Vista tridimensional del Manto Ángela este en la zona de Alapampa (modificado de Pan American Silver, 2020). .....49

**Figura 4-5:** Fotos del frente de explotación de la Veta Morro Solar en el Nv. 4025 y las muestras recolectadas: **(a)** se señala la ubicación del cuerpo de reemplazamiento y de la anhidrita sedimentaria, y de las muestras recolectadas; **(b)** veta de anhidrita intersecta al cuerpo de reemplazamiento (izquierda) y es intersectada por vetillas de carbonatos de tonalidad rosa pálido tardías; **(c)** núcleo de pirita (py)-cuarzo (qtz) rodeado por un ribete de esfalerita (sph) al contacto con un cuerpo de anhidrita (anh)-pirita (py), en el interior del cuerpo de reemplazamiento; **(d)** Brecha de caliza en matriz de anhidrita, bajo el nivel de anhidrita de la secuencia sedimentaria inicial.....52

**Figura 4-6:** Generaciones reconocidas de anhidrita, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz transmitida (LLP): **(a)** LLP 5X: cristales de anhidrita sedimentaria (anh 1) dentro de clasto de clz (descrita en la lámina 022-LPB); **(b)** LLP 5X: cristales de anh 2 como relictos al interior de py y qtz 2 euهدral, todo ello en una matriz de anh 3 removilizada (descrita en la lámina 003-LP); **(c)** LLP 5X: cristales de sph crecieron entre los intersticios de los cristales gruesos de anh 3 y los cristales de qtz 1 anhedrales (descrita en la lámina 005-LP); **(d)** LLP 5X: vetilla de anhidrita anh 4 libre de mineralización y cortada por vetas de CBs tardío (descrita en la lámina 004-LPB). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, cuarzo, CBs = carbonatos; = qtz, sulfuros = slf, pirita = py, yeso = gy, barita = ba, clz = caliza.....53

**Figura 4-7:** Generaciones reconocidas de cuarzo, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz transmitida (LLP) y reflejada (XLP): **(a)** LLP 5x: cristales de slf y CBs crecieron entre intersticios de cristales anhedrales de qtz 1, y al contacto con un nódulo de anh 3 posteriormente reemplazada a gy (descrita en la lámina 001-LP); **(b)** LLP 5x: cristales euهدrales de qtz 2 con relictos de anh 2 en una matriz de anh 3 removilizada (descrita en la lámina 003-LP); **(c)** LLP 5x: vetilla de qtz 3 corta nódulo de anh 3 (descrita en la lámina 006-

LP); **(d)** XLP 5x: cristales anhedrales pequeños de qtz 4 precipitados gravitacionalmente sobre cristales de ba (descrita en la sección 006-SP). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, cuarzo, CBs= carbonatos; = qtz, sulfuros = slf, pirita = py, yeso = gy, barita = ba.....54

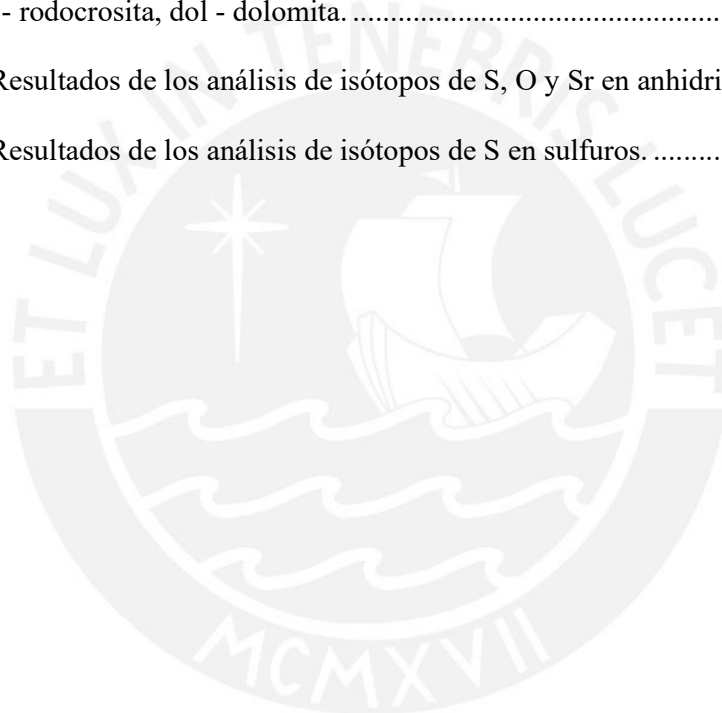
**Figura 4-8:** Generaciones reconocidas de pirita, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz reflejada (XLP): **(a)** XLP 5x: cristales euhedrales a subhedrales de py 1 diseminados en una matriz de anh 3 - qtz 1 (descrita en la sección 001-SPC); **(b)** XLP 5x: cristales de py 2 reemplazados por gn 2 y CBs euhedrales, al contacto con un nódulo de anh 3 (descrita en la sección 001-SPB); **(c)** XLP 20x: cristal anhedral de py 3 con abundantes inclusiones de: cpy, cobres grises, vn y gn (descrita en la sección 010-SPA); **(d)** XLP 5x: py 4 de la variedad brv corona cristales de sph y py desde sus bordes (descrita en la sección 018-SP). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, cuarzo = qtz, pirita = py, esfalerita = sph, calcopirita = cpy, cobres grises = CGs, galena = gn, vinciennita = vn, bravoíta = brv. ....55

**Figura 4-9:** Generaciones reconocidas para esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz transmitida (LLP) y reflejada (XLP): **(a)** XLP 5x: cristal anhedral de sph 1 con inclusiones de std reemplazadas por gn 2 (descrita en la sección 010-SPA); **(b)** XLP 20x: transición continua de sph 2 con “chalcopyrite disease” a sph 3 limpia (descrita en la sección 001-SPA); **(c)** LLP 5x: cristal de sph 4 del tipo “schalenblenda” creció sobre clasto de clz parcialmente recristalizada y en una matriz de gy (descrita en la lámina 011-LP); **(d)** XLP 5x: cristales euhedrales de gn 3 reemplazaron a sph 4 (descrita en la sección 011-SP); **(e)** XLP 50x: inclusiones de std en cristales de gn y CGs (descrita en la sección 005-SPA); **(f)** XLP 5x: vetilla de cpy 2 reemplazada por CGs 2, en una matriz de anh 3 (descrita en la sección 005-SPA). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, pirita = py, esfalerita = sph, calcopirita = cpy, cobres grises = CGs, galena = gn, std = estannoidita, clz = caliza, yeso = gy.....56

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 4-10:</b> Secuencia paragenética de la Veta Morro Solar, dentro del esquema de Catchpole (2011).....   | 59  |
| <b>Figura 4-11:</b> Secuencia paragenética del Manto Ivette, dentro del esquema empleado por Catchpole (2011).....   | 60  |
| <b>Figura 5-1:</b> Datos de isótopos de (a) $\delta^{34}\text{S}$ de anhidrita, pirita y esfalerita (valores de sulfuros de la mineralización polimetálica Cordillerana en Morococha obtenidos de Catchpole 2011; valores de las evaporitas marinas del Triásico-Jurásico obtenidos de Claypool et al. (1980). (b) Composición del isótopo de Sr de la anhidrita (modificado de Kouzmanov et al.2011; valores de agua de mar del Noriano según Korte et al.(2003); valores del agua de mar del Raetiano según MacArthur et al.(2012); valores de los sedimentos carbonatados en la Fm. de Chambará según Moritz et al.1996 y de Oliveira et al.2019, 2021; valores del sulfato marino del Condorsinga según Moritz et al.(1996); y valores de los basaltos alcalinos del Mitu según Moritz et al.(1996) y de Oliveira et al.(2021))..... | 67  |
| <b>Figura 5-2:</b> Datos de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ versus $\delta^{18}\text{O}$ para carbonatos obtenidos de brecha de caliza, y carbonatos asociados a la mineralización de la Veta Morro Solar y el Cuerpo Rosita. Valores de carbonatos asociados a la mineralización polimetálica Cordillerana en Morococha obtenidos de Catchpole 2011; valores de roca carbonatada inalterada del Grupo Pucará extraídos de Moritz et al. 1996; y el campo sombreado representa los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de fluidos calculados en equilibrio con carbonatos de Fe-Mn-Zn según la ecuación de Zheng (1999) para siderita a 200°C (modificado de Baumgartner, 2007).....  | 68  |
| <b>Figura A.3 - 1:</b> Resultados del análisis de DRX para la anhidrita sedimentaria (2019-MOR-002). Indica un contenido al 100% de anhidrita.....   | 216 |
| <b>Figura A.3 - 2:</b> Resultados del análisis de DRX para la anhidrita asociada a la mineralización polimetálica del Manto Ivette (2019-MOR-009). Indica un contenido al 74% de anhidrita y 26% de yeso. ....   | 217 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla A.1 - 1:</b> Correlación entre los Horizontes descritos por Terrones (1949) para la Formación Potosí, y su porción dentro de la secuencia carbonatada..... | 78 |
| <b>Tabla A.1 - 2:</b> Resumen de muestras, ubicación y tipo de análisis realizado.....  | 79 |
| <b>Tabla A.1 - 3:</b> Resumen del estudio en microscopio óptico (PPL y XPL).....  | 83 |
| <b>Tabla A.1 - 4:</b> Resultados de los análisis de isótopos de C y O en carbonatos. Abreviaciones: cc – calcita, rod - rodocrosita, dol - dolomita. ....           | 87 |
| <b>Tabla A.1 - 5:</b> Resultados de los análisis de isótopos de S, O y Sr en anhidritas.....  | 87 |
| <b>Tabla A.1 - 6:</b> Resultados de los análisis de isótopos de S en sulfuros.....  | 88 |



# 1. INTRODUCCIÓN

## *1.1. Contexto General*

El distrito minero de Morococha se ubica a 150 km al noreste de Lima, en el Perú central. Se trata de un yacimiento polimetálico “cordillerano” que hospeda mineralización hidrotermal de Cu-Ag-Pb-Zn (Kouzmanov et al., 2011; Catchpole et al., 2015) en litologías variadas como rocas volcánicas, intrusivos, rocas carbonatadas y skarn (Catchpole et al., 2016). Las estructuras mineralizadas (vetas y cuerpos de reemplazamiento) se formaron en condiciones meso-epitermales, y están espacial y genéticamente asociadas a un sistema magmático-hidrotermal centrado en pórfidos tempranos de Cu-(Mo-Au) (Catchpole et al., 2015b, 2016). Tres centros magmáticos-hidrotermales del Mioceno tardío, separados en tiempo y espacio, constituyen la fuente de fluidos hidrotermales en el distrito de Morococha: Codiciada, Ticlio y Toromocho (Catchpole et al., 2015a). Siendo este último el más joven, de escala más importante y único centro de mineralización económica del distrito minero; cuyas dos fases de mineralización de tipo pórfido y skarn constituyen el pórfido gigante de Cu-Mo de Toromocho (Catchpole et al., 2015b).

En el distrito, las litologías que hospedan la mineralización presentan una gran variedad, siendo los estratos carbonatados de la Formación Chambará, en la base del Grupo Pucará (Triásico Superior- Jurásico Inferior) el más frecuente encajonante (Nagell, 1960; Rosas et al., 2007). Cuerpos lenticulares de anhidrita (entre 750 y 1500 metros de extensión por 20 a 300 metros de potencia; según secciones esquematizadas en Haapala, 1953 y Nagell, 1957) se hospedan en la base de la Formación Chambará cerca a/o sobre el contacto discordante entre el Grupo Pucará y el Grupo Mitu (Triásico). Denominado en Morococha como el “Complejo de Anhidritas”, estos cuerpos formados por anhidrita

con menor presencia de yeso se encuentran, a gran escala, espacialmente asociados a intrusiones y a presencia de mineralización (Haapala, 1953; Nagell, 1957; Kouzmanov et al., 2011) . Su origen fue tema de gran controversia, tal que se postularon dos teorías inicialmente: un origen sedimentario (Haapala, 1953) o formación por remplazamiento hidrotermal de calizas (Nagell, 1957). Sin embargo, estudios posteriores de isótopos de S indican un origen sedimentario y sugieren una posterior removilización parcial de la anhidrita (Petersen, 1972). Estudios recientes de isótopos de O, S, Sr y Nd, realizados por Kouzmanov et al. (2011), avalan estos resultados concluyendo que se tratan de evaporitas del Triásico-Jurásico cuya parcial removilización se asoció a la migración de fluidos, principalmente a lo largo de acuíferos, activados por anomalías térmicas provocadas por el magmatismo del Mioceno tardío.

A pesar de que estudios isotópicos han demostrado que tanto el azufre como los metales fueron aportados por fluidos salinos calientes, de firma predominantemente magmática (Catchpole et al., 2015a, b, 2016), la presencia de mineralización de alta ley espacialmente asociada a cuerpos de evaporitas sugiere la posibilidad de una fuente adicional local de azufre, lo cual podría implicar un mecanismo adicional de precipitación de mineralización. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en determinar si las evaporitas presentes en secuencias carbonatadas constituyeron una fuente adicional de azufre en el sistema magmático-hidrotermal centrado en pórfidos de Morococha.

## ***1.2. Problemática***

Desde su descubrimiento en 1927 se produjo gran interés y largas campañas prospectivas se desarrollaron entorno al Complejo de Anhidritas de Morococha. Estudios realizados a partir de estas campañas, no registraron mineralización significativa al interior de los cuerpos de anhidrita; pero sí encontraron mineralización de Cu de alta ley

al contacto del stock Gertrudis con el cuerpo evaporítico. Debido a la potencia limitada (1.5 m) de la zona de recristalización de la anhidrita en este contacto, y a la falta de evidencias de reacciones químicas entre los sulfuros y los sulfatos del distrito, no se describió una relación directa entre ambos (Nagell, 1957), solo la recristalización y la removilización de los sulfatos resultó evidente (Haapala, 1953; Nagell, 1957; Kouzmanov et al., 2011). Es por ello, que el interés por estudiar a detalle estos cuerpos de anhidritas, se desvaneció.

Es la profundización de la mina, a partir del 2010, y el subsecuente descubrimiento del Cuerpo Esperanza en la zona de Codiciada en el 2014, lo que renovó el interés en los cuerpos de evaporitas de Morococha. La presencia del Cuerpo Esperanza con presencia de altas leyes de cobre (calcopirita-tetraedrita) y zinc (esfalerita), en la zona de contacto con una masa de anhidrita hospedada en las calizas del Grupo Pucará, vuelve a cuestionar la ausencia de una relación química entre los sulfatos y la mineralización en sulfuros previamente asumida. Si bien los análisis isotópicos realizados por Kouzmanov et al. (2011) indican que estas evaporitas han sufrido una interacción con los fluidos hidrotermales del Mioceno; no concluyen si la mineralización espacialmente asociada a las anhidritas tuvo un aporte de azufre por parte de estas.

En yacimientos Kupferschiefer y de tipo Mississippi Valley (MVT) el rol de las evaporitas ha sido ampliamente descrito con ejemplos para el primero en Alemania y Polonia (Borg et al., 2012); y para el segundo, en China (Leach et al., 2017), Túnez (Bouhlef et al. 2016) y España (Perona et al. 2018). En Perú, se han descrito depósitos MVT potencialmente asociados con evaporitas que incluyen Shalipayco (de Oliveira et al. 2021) y Florida Canyon (distrito de Bongará; de Oliveira et al. 2019), ambos depósitos hospedados en los carbonatos del Grupo Pucará (Rosas et al. 2007). Si bien el papel de las evaporitas en algunas mineralizaciones Kupferchiefer y MVT está bien definido, en

depósitos de origen magmático-hidrotermal este papel ha sido menos estudiado (Kouzmanov et al. 2011; Ramírez et al. 2022).

En ese sentido, la determinación del rol de las evaporitas en Morococha, así como la evaluación de si el azufre de origen evaporítico constituyó un aporte local significativo respecto al azufre suministrado por fluidos hidrotermales del sistema de mineralización, zanjaría el debate descrito y podría abrir un nuevo campo prospectivo.

### ***1.3. Objetivos del trabajo***

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Determinar si existió un aporte local significativo por parte de las anhidritas de origen evaporítico respecto al azufre magmático suministrado por fluidos hidrotermales en el sistema de mineralización de Morococha, Junín, Perú

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Establecer una secuencia paragenética de los minerales asociados a las anhidritas de Morococha en base a estudios de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido y microsonda electrónica.
- Determinar si hubo fases de disolución, reemplazamiento y/o removilización de las anhidritas de Morococha en base a estudios de campo y microscopía óptica.
- Determinar el origen de las diferentes variedades de anhidrita, en base a estudios isotópicos de estroncio.
- Determinar el origen del azufre de las anhidritas y de los sulfuros asociados en base a estudios isotópicos de azufre.



- Evaluar el papel de las anhidritas en la distribución espacial de la mineralización polimetálica (vetas y cuerpos de reemplazamiento) de Morococha en base al modelo geológico 3D de Panamerican Silver.

#### ***1.4. Hipótesis***

Estudios realizados por Haapala (1953), Petersen (1972) y Kouzmanov et al. (2011) indican que los sulfatos del Complejo de Anhidritas de Morococha, hospedados en la base de la Formación Chambará, tienen un origen sedimentario; y que producto de los múltiples eventos hidrotermales del Mioceno tardío, la secuencia evaporítica habría sufrido una posterior removilización. Dicha removilización en algunos casos se presenta asociada espacialmente a la mineralización de vetas y cuerpos polimetálicos (Kouzmanov et al., 2011; Vallance, 2015)

Estudios isotópicos han confirmado que tanto el pórfido y el skarn, así como la mineralización polimetálica meso-epitermal de Morococha se formaron a partir de fluidos con firmas predominantemente magmáticas (Catchpole et al., 2011). Sin embargo, las altas leyes de Cu reportadas en la mineralización hospedada al contacto con los cuerpos de anhidrita sugieren un aporte de azufre por parte de dichos sulfatos, lo que implicaría un mecanismo de reducción de  $S^{6+}$  a  $S^{2-}$  no antes descrito en Morococha.

#### ***1.1. Justificación***

El alto tonelaje (aproximadamente 100 Mt según Nagell, 1957) que representan los cuerpos evaporíticos dentro del distrito de Morococha, su amplia distribución dentro del metalotecto que constituye la franja de rocas carbonatadas del Grupo Pucará, así como las sospechas de la relación entre la mineralización de sulfuros y los cuerpos de sulfatos,

crea la necesidad de conocer su papel dentro de los procesos de mineralización. En este contexto, explicar las interacciones fluido-roca en sistemas centrados en pórfidos hospedados por secuencias carbonatadas con alto contenido de cuerpos evaporíticos; así como la influencia local de dichos cuerpos, como posible fuente adicional de azufre y por ende de mineralización, no solo permitiría concluir el debate del papel de las anhidritas en el proceso de mineralización de Morococha, sino que además podría abrir un nuevo campo prospectivo. Para ello se propone: (i) establecer una secuencia paragenética de los minerales asociados a los cuerpos de anhidrita, (ii) determinar las fases de disolución, reemplazamiento y/o removilización apoyándose en análisis isotópicos de estroncio; y finalmente, (iii) trazar el origen del azufre mediante estudios isotópicos de azufre en anhidritas y en los sulfuros asociados.

## ***1.1. Antecedentes***

### ***1.1.1. El “Complejo de Anhidritas” de Morococha (MAC)***

Las anhidritas de Morococha fueron descubiertas en 1927 por L. C. Graton, geólogo de la “Cerro de Pasco Corporation” que operaba el yacimiento en aquellos años (Haapala, 1953). Muchos trabajos prospectivos fueron realizados con relación a ellas; la compañía no solo tenía interés en su relación con la mineralización metálica, sino también en su potencial como mineral industrial. Sin embargo, al no encontrar resultados fructíferos a nivel económico, el interés en las anhidritas cesó.

Denominado localmente aquí como el “Complejo de Anhidritas de Morococha” (de ahora en adelante MAC), estos cuerpos lenticulares de anhidrita y yeso, espacialmente asociados a intrusiones del Mioceno tardío, se hospedan en las rocas carbonatadas de la base de la Formación Chambará (base del Grupo Pucará de edad Triásico Superior–

Jurásico Inferior) próximo a/o en la misma discordancia angular con el Grupo Mitu (Nagell, 1957; Haapala, 1953; Kouzmanov et al., 2011) de edad Triásica (Schaltegger et al., 2008; Spikings et al., 2016). Haapala (1953) las describe como cuerpos lenticulares compuestos, en orden creciente de abundancia, por: *shales*, carbonatos y anhidritas; correspondiendo a esta última el 60-70 % del total. Estimaciones preliminares hechas por Nagell (1957) sugieren que en el distrito minero el volumen de sulfatos de calcio, en forma de yeso y anhidrita, asciende a los 100 Mt.

Desde su descubrimiento, el origen de estos sulfatos ha causado gran controversia, la cual se refleja en la variedad de teorías que se han postulado en torno a ellas. Durante muchos años fueron consideradas como producto de reemplazamiento de rocas carbonatadas por soluciones magmáticas activas durante la fase metamórfica de Morococha (Graton, 1935 y William, 1935 *in* Haapala, 1953). Estudios posteriores cuestionaron dicho origen atribuyéndoles un: (i) origen evaporítico acompañado de posteriores removilizaciones (Haapala, 1953); o (ii) un origen hidrotermal por reemplazamiento de calizas (Nagell, 1957). Sin embargo, estudios posteriores de isótopos de S, realizados por Petersen (1972), confirmaron el origen sedimentario de las anhidritas, sugiriendo además su removilización parcial. Estudios isotópicos de O, S, Sr y Nd, realizados por Kouzmanov et al. (2011), respaldaron esta investigación preliminar y concluyen que se tratan de evaporitas del Triásico-Jurásico que interactuaron y sufrieron una parcial removilización asociada a la migración de fluidos activados por anomalías térmicas producto del magmatismo del Mioceno.

Secciones y descripciones del MAC en el distrito minero de Morococha, presentadas por Haapala (1953) y Nagell (1957), muestran variaciones importantes en la potencia de los cuerpos de sulfatos (Figura 1-1, Figura 1-2). La parte central del MAC llega a alcanzar una dimensión vertical de 150 m (Haapala, 1953), con capas individuales

de entre 5 y 30 m (Nagell, 1957); con el mayor volumen en la proximidad de intrusivos y fallas. El contacto superior del MAC, a gran escala, es concordante con las calizas de la Formación Chambará, con discordancias a escalas métricas, mientras su contacto inferior se encuentra sobreyaciendo a los primeros estrados de las calizas de la Formación Chambará o directamente sobre las secuencias volcánicas del Grupo Mitu. A gran escala, el MAC está en conformidad con el plegamiento de la zona; sin embargo, los niveles carbonatados en el interior del complejo presentan una mayor deformación que las calizas ubicadas en su techo (Haapala, 1953; Nagell, 1957). Adicionalmente, en la parte central del MAC, las evaporitas forman un domo suave que deforma los estratos carbonatados suprayacentes formando un anticlinal menor; sin embargo, hacia el oeste, las capas de anhidritas vuelven a ser paralelas a los estratos de caliza (Haapala, 1953). Nagell (1957) atribuyó la intensa deformación descrita en las anhidritas a su naturaleza plástica, indicando además que dicha deformación estaría expresada por el intenso brechamiento presente en los contactos superior e inferior del MAC.

En el distrito de Morococha, se han descrito distintas brechas concordantes con la estratificación a gran escala (Terrones, 1949; Pérez et al., 2011). Una de ellas es la brecha tectónica Toldo, de la base de la Formación Chambará, ubicada en la misma posición estratigráfica que el MAC (Pérez et al., 2011). Un tipo diferente de brechas ha sido descrito en los contactos entre el MAC y algunos intrusivos y cuerpos minerales. Denominadas por Nagell (1957) como brecha de colapso, son explicadas como producto del derrumbe de cavidades, debido a actividad tectónica durante la removilización de los cuerpos evaporíticos, como consecuencia de la disolución parcial de las anhidritas por fluidos hidrotermales y, en menor cantidad, aguas superficiales.

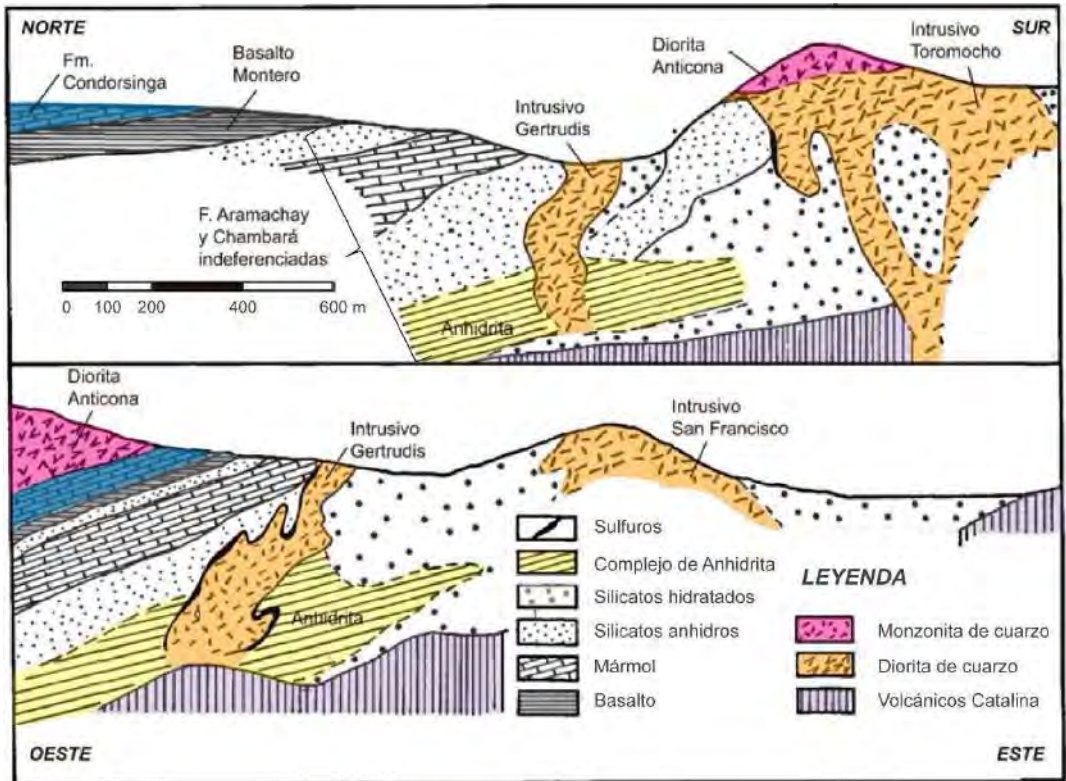


Figura 1-1: Secciones verticales Norte-Sur y Este-Oeste que muestran el MAC (Modificado de Nagell, 1957).

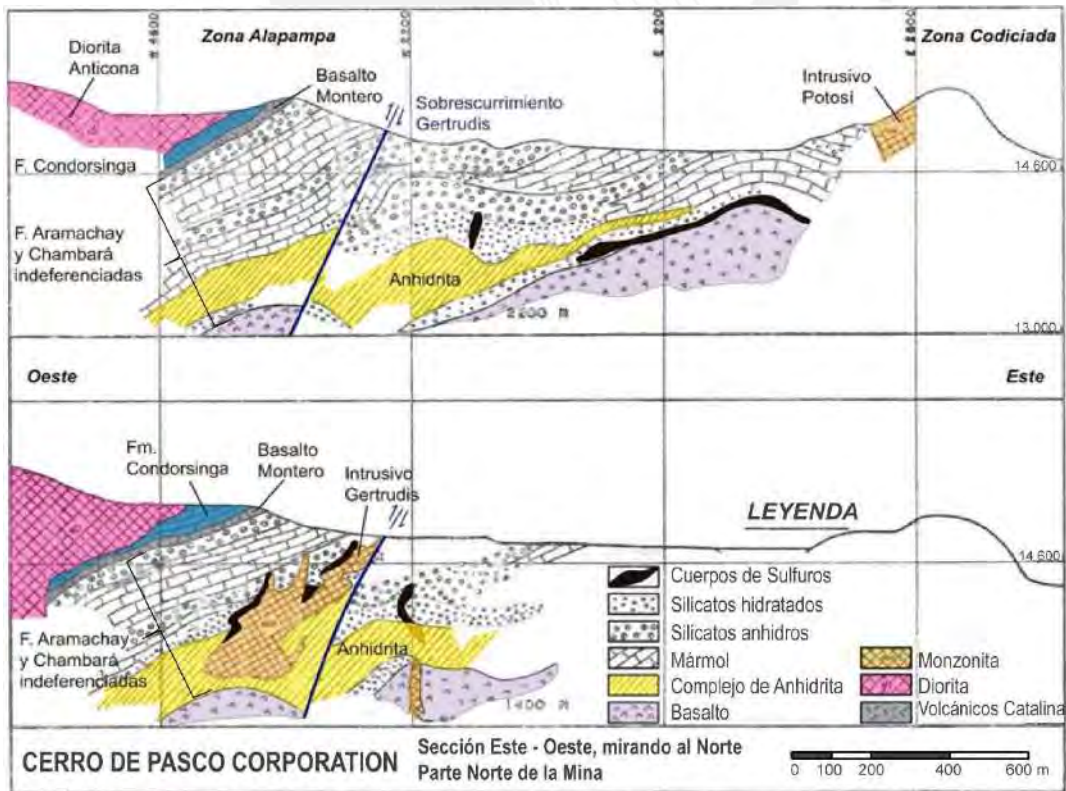


Figura 1-2: Secciones verticales Este-Oeste, en la zona de Alapampa y Codiciada (Modificado de Haapala, 1953).

En el distrito de Morococha, dicha removilización, descrita por Haapala (1953) y Nagell (1957), se expresa en forma de: (i) reemplazamiento local de anhidrita por cristales de yeso al techo del MAC producto de interacción con aguas meteóricas, (ii) vetillas y disseminaciones de yeso-anhidritas que cortan y se hospedan, respectivamente, en todos los tipos de rocas del complejo, incluyendo los intrusivos de edad Miocena; (iii) mineralización de sulfuros entre el contacto del intrusivo y el cuerpo de evaporitas; (iv) vetas de anhidrita-cuarzo-pirita±calcopirita, de 0.5 a 5 cm de potencia, que cortan las calizas fuertemente silicificadas y alteradas; y, (v) localmente, vetas polimetálicas de 1 m de espesor (posteriores a la alteración y mineralización de tipo pórfido) con bandas de anhidrita-rodocrosita±esfalerita, calcopirita y galena, y hospedadas por una intrusión porfídica mineralizada en la parte central del distrito.

Dentro de los cuerpos de anhidrita no se tiene registro histórico de mineralización económica. Sin embargo, existe una clara asociación espacial con cuerpos mineralizados en las zonas donde el MAC está en contacto con cuerpos intrusivos. Incluso, algunos de los minerales de mena de Cu de mayor ley del distrito han sido reportados en este tipo de contacto (por ej. en el contacto del stock Gertrudis y el MAC; Nagell, 1957).

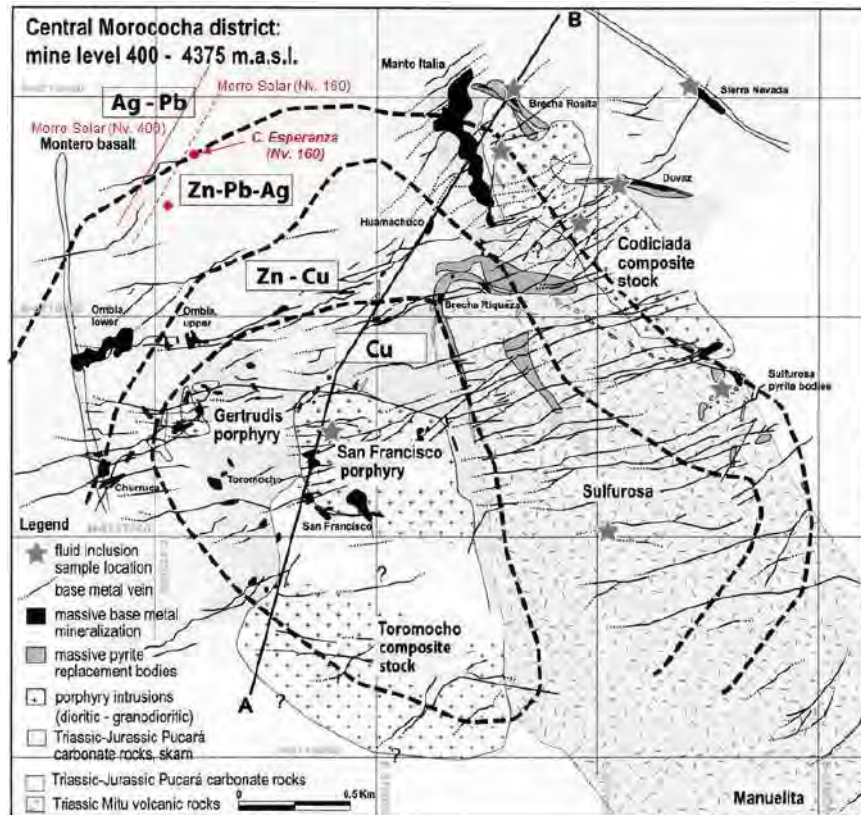
### ***1.1.2. Asociación espacial de las anhidritas con las vetas y cuerpos de reemplazamiento de Morococha***

Cuarenta metros por encima del Manto Ivette, hospedado en los niveles de calizas dolomitizadas enriquecidas en materia carbonosa, se encuentra el Cuerpo Esperanza (Figura 1-3, Figura 1-4, Figura 1-5). Este cuerpo comprende dos subcuerpos mineralizados de 40 metros de diámetro cada uno, alineados NE-SW paralelamente al techo de la veta Morro Solar (a una distancia horizontal de 20 a 30 m), con altas leyes de Cu y de Zn al contacto con cuerpos de anhidrita circundantes. Su mineralización presenta una zonación

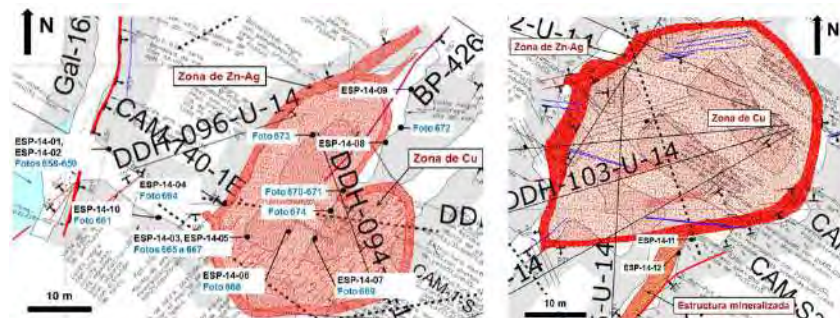
horizontal (no confirmada verticalmente) bien desarrollada, compuesta por (en secuencia): (i) un núcleo rico en hierro reducido, a veces ausente o, cuando está presente, fuertemente reemplazado por cobre (de la zona ii); (ii) una zona rica en cobre (calcopirita-tetraedrita), con presencia de anhidrita “preservada” y pirita reemplazada por calcopirita en el contacto entre ambas; y, (iii) una zona distal (3 a 10 m de potencia) rica en zinc y plata (esfalerita-tetraedrita) con menor contenido de cobre, dentro de una ganga compleja de anhidrita y skarn de serpentina (Figura 1-5a). Los niveles de *chert* observados localmente en la zona (ii) indican que la roca original, de la zona del cuerpo Esperanza, corresponde a una intercalación de anhidrita masiva con estratos subordinados de caliza con *chert*. En la zona (ii) se han registrado, además, varias fases de removilización de anhidrita, reflejada en el reemplazamiento de los “remanentes” de este mineral por estructuras vetiformes (con un ribete de carbonatos y otro de esfalerita) que intersecan el cuerpo de cuarzo-pirita (Figura 1-5b); y, fases de deposición sucesiva de pirita acompañada por removilización de anhidrita anterior a la mineralización de cobre. Dentro de la zona de transición hacia la zona (iii) existe pirita (remanente del cuerpo de cuarzo-pirita) reemplazada por esfalerita y tetraedrita, con presencia local de calcopirita. La transición de los cuerpos mineralizados hacia su roca de caja es i) directa, con nódulos de anhidritas en las calizas; o ii) progresiva, marcada por brechas con clastos de caliza (en algunos casos delineados por ribetes de carbonatos) cementados por anhidrita (Figura 1-5 c, d). Tanto los clastos como la anhidrita pueden contener disseminaciones locales de esfalerita (Vallance, 2015).

Vallance (2015) señala que, en el caso del Cuerpo Esperanza, la anhidrita no solo ha actuado como una trampa local reteniendo a los fluidos mineralizantes, sino que, además, como producto de esta interacción las características fisicoquímicas del fluido que transportó los metales cambiaron, permitiendo la deposición de la mineralización,

con reemplazamiento local de la anhidrita, en el contacto con el cuerpo mineralizado. Sin embargo, estudios de isótopos de azufre en anhidritas de la MAC asociadas espacialmente con piritas de la mineralización polimetálica de Morocha, indican que sus curvas no covarían, lo cual implica: o (i) una predominancia de las especies de azufre reducido en el fluido; o, (ii) distintas fuentes de azufre para la anhidrita y la pirita (Kouzmanov et al. 2011).

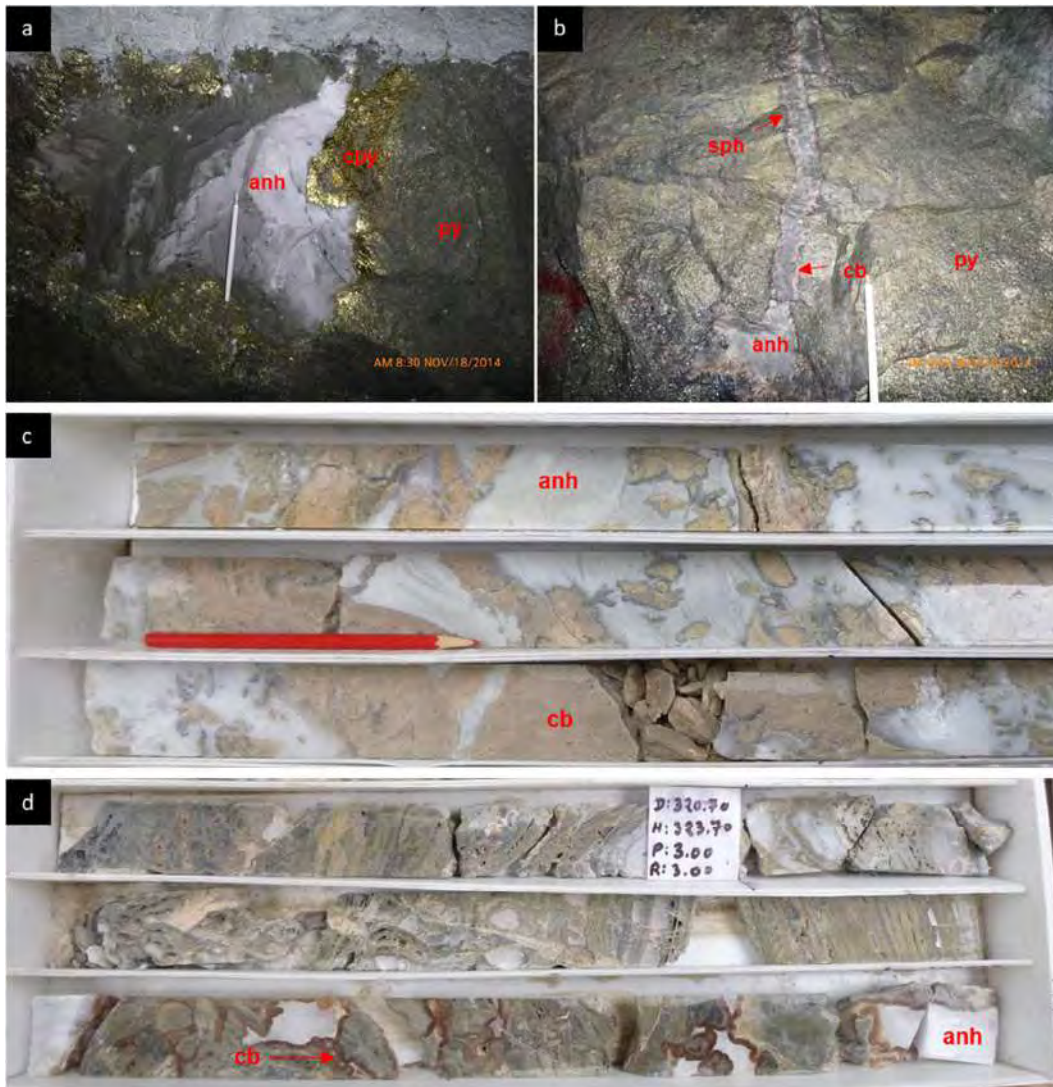


**Figura 1-3:** Mapa geológico de la distribución y zonación de la mineralización del distrito minero de Morococha, en los alrededores del pórfido de Toromocho y en el nivel 400 de la mina (Vallance, 2015; modificado de Catchpole, 2011).



**Figura 1-4:** Plano geológico de los dos cuerpos del Cuerpo Esperanza en el Nivel 160. Izquierda: cuerpo Norte, derecha: cuerpo Sur (Vallance, 2005).





**Figura 1-5:** Imágenes extraídas del informe interno de Cuerpo Esperanza realizado por Vallance (2015). *a.* Remanente de anhidrita masiva dentro de un cuerpo de cuarzo-pirita con acumulación de calcopirita al contacto entre ambas. *b.* Transición de un “remanente” de anhidrita masiva hacia una veta que corta el cuerpo de cuarzo-pirita. El borde de la veta está marcado por un ribete beige-marrón de carbonatos y un ribete externo de esfalerita. *c.* Brecha cementada por anhidrita y clastos de mármol con recristalización parcial a carbonatos de color beige. *d.* Localmente, en la brecha con cemento de anhidrita, los ribetes de carbonatos (marrón rojizo) de los clastos pueden ser potentes. Los clastos de mármol recristalizados pueden presentar cavidades que corresponden a zonas de disolución de grandes cristales de yeso. Abreviaciones empleadas: anh = anhidrita, cb = carbonatos, py = pirita, cpy = calcopirita, sph = esfalerita.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1. Situación Geográfica

El distrito minero de Morococha (Figura 2-1) políticamente pertenece al distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín. Está localizado en el Perú Central en el extremo noroeste del Domo de Yauli, a 150 km al este de Lima y a 32 km al oeste de la fundición de La Oroya, y siendo accesible a través de la Carretera Central. Se encuentra inmediatamente al este de la divisoria continental entre las cotas 4370 y 5090 m.s.n.m. (Haapala, 1953; Nagell, 1960; Bendezú, 2007).

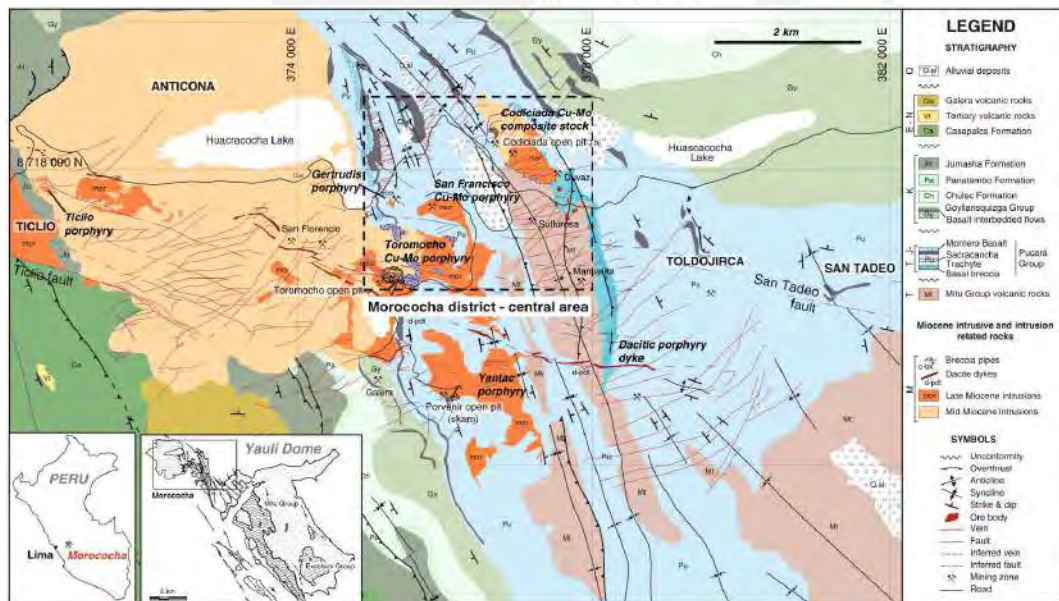
### 2.2. Situación geodinámica

Una de las principales fuentes de cobre y oro en el mundo son los yacimientos magmáticos-hidrotermales formados en contextos de suprasubducción (Rosenbaum et al., 2005). En la cordillera de los Andes, centro y norte del Perú, este tipo de depósitos son muy frecuentes, y están asociados al “Ciclo Andino” que empezó en el Triásico superior hace ~ 220 Ma en relación con la apertura del Atlántico Sur y con la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana (Steinmann, 1929; Mégard, 1984; Benavides-Cáceres, 1999; Scherrenberg et al., 2016).

El alzamiento de los Andes del Perú Central empezó hace ~ 80 Ma y envolvió tres episodios principales de acortamiento, que corresponden a períodos de rápida subducción ortogonal bajo el margen Andino: (i) Orogenia Peruana del Cretácico Superior, (ii) Orogenia Incaica del Paleógeno-Eoceno, y (iii) Orogenia Quechua del Neógeno (Mégard, 1984; Benavides-Cáceres, 1999; Scherrenberg et al., 2016).

La Faja Plegada y Corrida del Marañón (MFTB) es el componente central del sistema orogénico Andino (Figura 2-2). Consiste en un bloque deformado (Figura 2-3)

ubicado al oeste del Alto del Marañón (Cordillera Oriental) y al este del Batolito Costero, limitado al norte por la Deflexión de Huancabamba, y al sur por la Deflexión de Abancay. La historia de la MFTB en Perú involucró varios eventos ígneos y de exhumación junto con la deformación del bloque, los cuales tuvieron lugar durante las últimas dos orogenias. Parte substancial del MFTB se formó durante la Orogenia Inca entre ~ 80–20 Ma. Durante este periodo se formó un sistema montañoso plegado al oeste de la falla cortical Chonta que progresivamente migró hacia el este, formando la deformación de piel fina de la faja plegada y corrida. Después de ~ 20 Ma, durante la Orogenia Quechua, ocurrió un evento de construcción de montañas con vergencia hacia el oeste, correspondiente al inicio de la flexión del basamento y el desarrollo de cabalgamientos en el MFTB. Esta deformación de piel gruesa, produjo el “*High Andean plateau*” (Altiplano) y los altos topográficos anómalos locales en el MFTB (Scherrenberg et al., 2016).

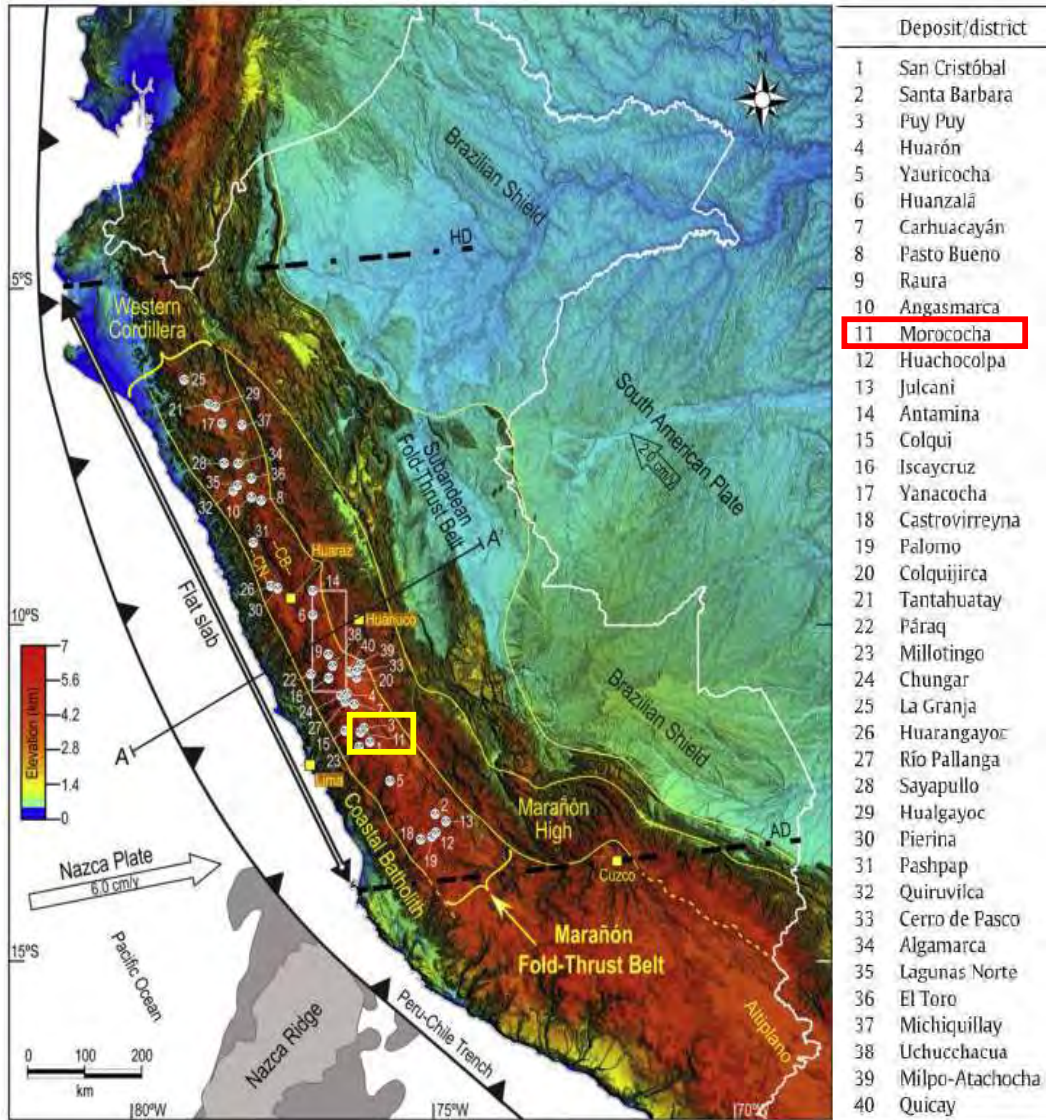


**Figura 2-1:** Mapa geológico del distrito minero de Morococha, con su ubicación respecto al Domo de Yauli. (Catchpole et al., 2015a).

La evolución estructural del MFTB influyó espacial y temporalmente en la distribución de los depósitos minerales. Sin embargo, factores adicionales han sido señalados para explicar el episodio metalogénico regional más prolífero, que constituye la mayor parte de los depósitos de mineral en el MFTB; iniciado en el Mioceno medio (Bissig et al., 2008; Scherrenberg et al., 2016). Según diferentes autores, este episodio de alta actividad hidrotermal y la formación de depósitos minerales habría sido favorecido y/o producido por: (i) el impacto de anomalías topográficas dentro de la zona de subducción, lo que produjo un mayor acoplamiento de las placas y por ende el aumento de la sismicidad y la deformación cortical; y, (ii) una reducción del ángulo de subducción de la Placa de Nazca, generando la reducción del volcanismo y el magmatismo del arco (Rosenbaum et al., 2005) así como el acortamiento de la corteza y la exhumación (Scherrenberg et al., 2016).

Scherrenberg et al. (2016) señalan una coincidencia entre la deformación de piel gruesa del MFTB (~ 20–7 Ma) y la mineralización del Mioceno. Sugiriendo que las fallas corticales de este sistema podrían haber servido como conducto para los magmas fértiles de arco, generados en la zona “MASH” (*Melting – Assimilation – Storage – Hybridisation*) de la corteza inferior, hacia la corteza superior donde los fluidos ricos en metales exsueles (a profundidades menores a 3-4 km) serían distribuidos dentro de la estructura MFTB preexistente. Esto coincidiría con las descripciones de Rosenbaum et al. (2005) para las fallas producidas por la deformación (i).

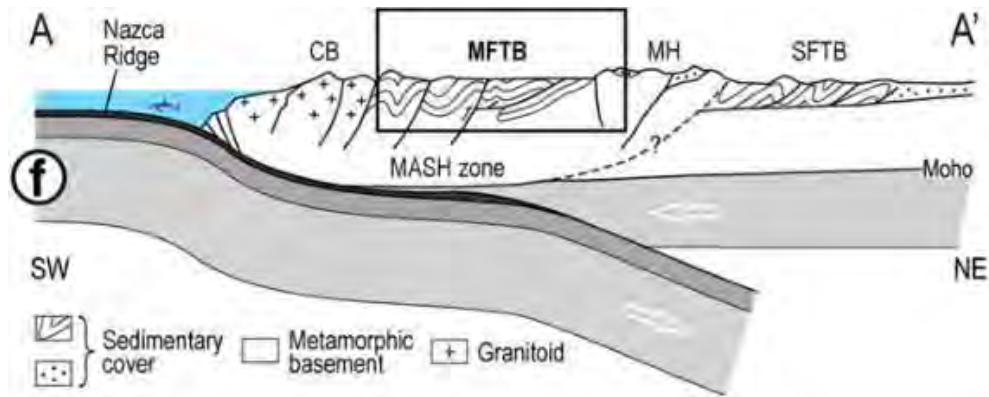
El magmatismo de Mioceno, ha sido estudiado en detalle por Bissig et al. (2008), identificando fases distintas entre el norte y el sur del Domo de Yauli. En este trabajo se detallará el magmatismo de la zona norte, donde se encuentra el distrito minero de Morococha.



**Figura 2-2:** Mapa de la ubicación de MFTB y los diferentes yacimientos que hospeda. En el rectángulo amarillo se indica la localización del Distrito de Morococha (Scherrenberg et al., 2016).

En la porción norte del Domo de Yauli, en el distrito de Morococha, el magmatismo del Mioceno medio y tardío presenta afinidad calco-alkalina (Catchpole et al., 2015a). El primer periodo está representado por cuerpos de composición félsica a intermedia, iniciando con el emplazamiento de la microdiorita Codiciada a  $14.31 \pm 0.04$  Ma (U-Pb en zircón; BendeZú et al., 2012) y la diorita Anticonca con edades entre 14.07 – 14.11 Ma (Kouzmanov et al., 2008; Beuchat, 2003). Por otro lado, el magmatismo del Mioceno tardío incluye una serie de stocks porfíricos de composición diorítica,

granodiorítica y cuarzomonzonítica de edades entre 9.4 a 7.9 Ma (Eyzaguirre et al., 1975; Beuchat, 2003; Kouzmanov et al., 2008; Bendezú et al., 2012; Catchpole et al., 2015a); siendo un dique dacítico porfirítico el último evento magmático registrado en todo el distrito, datado en  $7.26 \pm 0.02$  Ma (U-Pb en zircón; Kouzmanov et al., 2008, Kouzmanov, 2019, comunicación personal).



**Figura 2-3:** Sección regional y ubicación de la MFTB (Scherrerberg et al., 2016).

Al igual que en otras partes de la faja plegada y corrida del Marañón, en el distrito de Morococha, las estructuras anticlinales, el empuje hacia el este con estilo deformacional de “piel delgada” y las fallas empinadas con tendencia NNW-SSE y NE-SW controlaron, en parte, el emplazamiento de cuerpos intrusivos del Mioceno relacionados con la mineralización de pórfidos (Petersen 1965; Catchpole et al. 2015a). El emplazamiento de las vetas polimetálicas fue esencialmente controlado por un sistema de fallas normales de deslizamiento oblicuo dextral de tendencia NE-SW, mientras que la geometría de los cuerpos de reemplazamiento de tipo manto adicionalmente fue controlada por los sobreescurrecimientos Potosí y Gertrudis (por ejemplo, Manto Ombla), contactos intrusivos y el contacto discordante Mitu - Pucará (Catchpole et al. 2015b).

La franja metalogénica del Mioceno (Figura 2-4) se extiende a lo largo de la Cordillera Occidental en el norte y centro del Perú (Petersen, 1965). En la vertiente oriental de la Cordillera occidental, esta franja polimetálica hospeda a un número

importante de distritos mineros económicos (Catchpole et al., 2015a). Dentro de las 25 franjas metalogenéticas del Perú definidas por Carlotto et al. (2009), el distrito minero de Morococha forma parte de la franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu(-Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Mioceno, cuya mineralización está asociada a magmatismo calco-alkalino de márgenes de subducción de edades entre 6 – 20 Ma (Bissig et al., 2008).

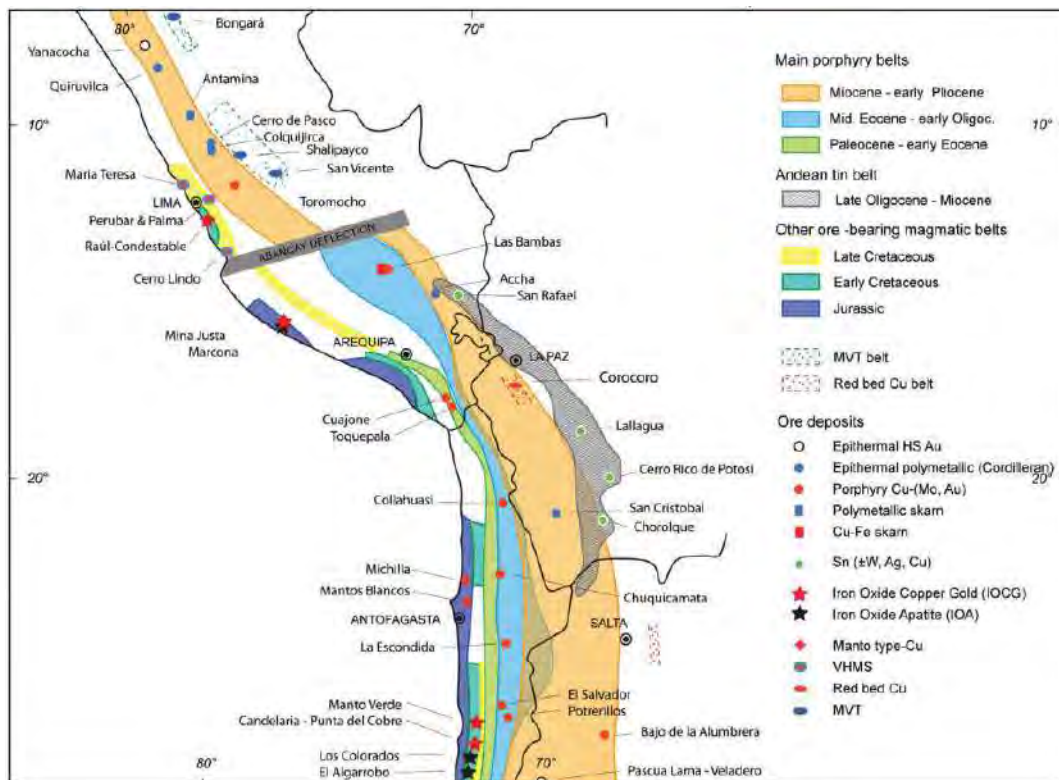


Figura 2-4: Mapa metalogenético de los Andes centrales (Fontboté, 2018)1

### 2.3. Geología regional

El distrito de Morococha se ubica en el extremo Noreste del Domo de Yauli. En el distrito de Morococha, este domo tectónico de 30 km de longitud está estructurado como un anticlinal de rumbo NNW. Rocas sedimentarias e ígneas afloran en el distrito, ocupando un área, en proporción parecida. La unidad más antigua conocida, que ocupa la base del domo y aflora al sur del distrito minero corresponde a los metasedimentos

Paleozoicos del Grupo Excélsior. Sobreyaciendo discordantemente a este grupo y aflorando predominantemente en la parte central del anticlinal, se encuentran las rocas vulcano-sedimentarias del Grupo Mitu (Terrones, 1949) de edad Triásica (Schaltegger et al., 2008; Spikings et al., 2016). Descansando en discordancia angular al Grupo Mitu (Rosas et al., 2007), y abarcando la mayor parte del área del distrito ocupado por las rocas sedimentarias (Terrones, 1949), se encuentran las rocas carbonatadas del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior). Intercalaciones de rocas volcánicas intermedias a máficas del Triásico tardío y Jurásico inferior, son evidencia de fases de actividad magmática esporádica dentro de esta secuencia carbonatada. Rocas clásticas Cretácicas del Grupo Goyllarisquizga sobreyacen en discordancia erosional al Grupo Pucará (Rosas et al., 2007). La transición de la serie clástica a las calizas de las Formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha del Cretácico Superior, se encuentra marcada por mantos intrusivos de basalto y diabasa (Terrones, 1949). Al sur del distrito, las lavas de Galera y flujos piroclásticos de composición riolítica recubren discordantemente a las calizas del Cretácico superior. En la parte occidental del distrito, las Capas Rojas de Casapalca (Terciario) sobreyacen en discordancia a las rocas carbonatadas del Cretácico superior (Bendezú, 2007; Catchpole et al., 2015a).

Con objeto de esclarecer los procesos geológicos que ocurrieron en el distrito de Morococha, en los siguientes párrafos se presenta un resumen de su secuencia estratigráfica describiendo en conjunto tanto sus características litológicas como estructurales.

### ***2.3.1. Grupo Excélsior***

La unidad más antigua que ocupa el basamento del Domo de Yauli y aflora en extremo sureste del distrito es la serie metasedimentaria del Grupo Excélsior (Terrones,



1949). Estas han sido reconocidas a lo largo de las labores subterráneas, cerca de los 550 metros de profundidad (Bendezú, 2007).

Esta serie metasedimentaria está conformada, de piso a techo, por filitas y cuarcitas grises oscuras, rocas metavolcánicas y volcanoclásticos gabro-dioríticos, mármoles blanquecinos seguidos de filitas pelíticas carbonáceas (Rivera y Kobe, 1983). La secuencia de filitas presenta una foliación metamórfica bien marcada, con un color que varía del negro por presencia de material orgánico al verde olivo, con masas lenticulares y concordantes de cuarzo lechoso (Terrones, 1949). Como producto de la orogénesis Hercínica, las rocas del Grupo Excélsior se encuentran intensamente plegadas y fracturadas (Salazar, 1983).

En base a braquiópodos encontrados en la región de Tarma por J.V. Harrison (1948, en Rosas, 1994) la unidad ha sido datada como Devónica, una edad posteriormente confirmada por F. Mégard (1979, en Bendezú, 2007).

### **2.3.2. Grupo Mitu**

El Grupo Mitu aflora en la región sureste del distrito de Morococha y de manera dominante en el núcleo del anticlinal del Domo de Yauli (Terrones, 1949; Bendezú, 2007). Comprende dos litologías principales, un miembro inferior de rocas clásticas rojizas (conglomerados, areniscas y brechas volcánicas), y un miembro superior de rocas volcánicas (lavas basálticas alcalinas y flujos piroclásticos) conocidas como “Volcánicos Catalina” (Terrones, 1949; c; Rosas, 1994; Spikings et al., 2016). Encontrándose que, en ciertas regiones, ambas litologías pueden incluir intercalaciones de rocas carbonatadas y/o evaporíticas (Rosas, 1994). En el sur del Perú, este Grupo es coetáneo con el emplazamiento de intrusiones peraluminosas de tipo S (por ej. Batolito de Coasa, Spikings et al., 2016).

En el altiplano, los contactos entre las filitas del Excelsior con la serie clástica de este grupo indican que estas sobreyacen en discordancia angular sobre las filitas. Mientras que los Volcánicos Catalina yacen generalmente sobre la serie clástica, aunque localmente se pueden encontrar directamente sobre el Grupo Excelsior ( Terrones, 1949; Salazar, 1983).

Los Volcánicos Catalina presentan dos litologías distintas; la porción inferior la constituyen corrientes lávicas con textura porfírica y composición andesítica que gradan a dacítica, de color gris a verde, mientras que la segunda fase extrusiva de carácter piroclástico está constituida por tobas a brechas de composición cuarzo latítica, latítica y andesítica, intercaladas con tobas de color gris a pardo (Terrones, 1949; Bendezú, 2007). Todos ellos se encuentran profundamente alterados por acción hidrotermal (Terrones, 1949).

Noble et al. (1978), Kontak et al. (1985) y Rosas (1994) asocian las rocas del Grupo Mitu a estructuras de *horst and grabens* relacionadas a un *rift* intracontinental. Estudios geocronológicos (zircón U-Pb), isotópicos (Hf, Nd), geoquímicos y observaciones estratigráficas posteriores realizadas por Spikings et al. (2016) indican que la sedimentación del Grupo Mitu ocurrió en un ambiente extensivo de tipo *rift* activo durante ~245–240 a ~220 Ma. Este autor interpretó a los magmas alcalinos como producto de una fuente juvenil común que evolucionó por cristalización fraccionada, provocando la anatexis de la corteza continental superior y formando intrusiones peraluminosas emplazadas concurrentemente al Grupo Mitu.

Esta serie volcano-sedimentaria se encuentra deformada dentro de la faja plegada y corrida del Cenozoico de Perú y Bolivia (Rosas et al., 2007).

Debido a la tectónica en horst y graben, la serie clástica y volcánica del Grupo Mitu, presenta variaciones brutales de potencia (Rosas et al., 2007). Mc Laughlin (1924)

estima su espesor en más de 760 metros, mientras que Terrones (1949) evoca más de 300 metros ( Terrones, 1949; Salazar, 1983; BendeZú, 2007).

Mc Laughlin ubica al Grupo Mitu dentro del Carbonífero superior (Salazar, 1983); mientras que Newell et al. (1953, en Rosas, 1994), lo atribuye al Pérmico-Triásico inferior. Relaciones estructurales postuladas en Rosas et al. (2007) lo ubicarían en el Triásico, una edad que sería restringida por Spikings et al. (2016) al Triásico inferior-Triásico medio. Sin embargo, dataciones recientes realizadas por Panca et al. (2018) en zircones detríticos lo atribuyen al Pérmico Superior-Triásico Superior.

### **2.3.3. Grupo Pucará**

Descrito en Morococha por los geólogos de la Cerro de Pasco Corporation como la Formación Potosí (Terrones, 1949), y ahora conocida como Grupo Pucará (Harrison, 1943; Mégard, 1968; Rosas et al., 2007), esta serie carbonatada del Triásico superior-Jurásico inferior, abarca la mayor parte de los afloramientos de rocas sedimentarias del distrito (Terrones, 1949). Respecto a otras zonas del Perú, en el Domo de Yauli la potencia del Grupo Pucará es reducida, producto de un proceso de subsidencia asimétrica (Rosas y Fontboté, 1995); siendo registrado un espesor promedio de 431 metros (Terrones, 1949).

La secuencia estratigráfica de la Formación Potosí fue dividida por Terrones (1949) en tres porciones: inferior, media y superior, las cuales comprenden distintos horizontes. Exceptuando el horizonte más bajo de las Capas Rojas de Potosí, la subdivisión recopilada por BendeZú (2007) se reporta en la Tabla A.1 - 1: Correlación entre los Horizontes descritos por Terrones (1949) para la Formación Potosí, y su porción dentro de la secuencia carbonatada., del Anexo 1. La correlación entre la Formación Potosí y las formaciones del Grupo Pucará ha sido muy controvertida, llegándose a considerar solo la existencia de la

Formación Condorsinga (Szekely y Grose, 1972; BendeZú, 2007). Sin embargo, estudios litológicos y litogeoquímicos realizados por Rosas y Fontboté (1995) en el área de Tingocancha (15 km al este de Morococha), han permitido correlacionar la secuencia calcárea del Grupo Pucará con la Formación Potosí. Esto señala, además, la existencia de las tres Formaciones (Chambará, Aramachay y Condorsinga desde la base hacia la parte superior), así como también las dataciones bioestratigráficas y absolutas reportadas en Rosas et al. (2016) y Olcese y Rosas (2023) en afloramientos de los alrededores de la zona de estudio.

El Grupo Pucará (Triásico superior-Liásico inferior) se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular y erosional al Grupo Mitu e infrayaciendo al Grupo Goyllarisquizga (Rosas, 1994). Corresponde a la unidad sedimentaria más antigua del ciclo Andino (Rosas, 1995). Su deposición ocurrió a inicios de dicho ciclo como consecuencia de la transgresión Noriana de dirección NNW-SSE, dando lugar a una extensa y alargada plataforma carbonatada adyacente al borde occidental del escudo brasileño (Rosas, 1994). La cuenca Pucará, ubicada en el centro y norte del Perú, se desarrolló como una plataforma intracratónica bajo condiciones de hundimiento regional *postrift* (Rosas et al., 2007), con influencia esporádica de actividad volcánica (Rosas, 1994).

Harrison (1943) subdividió el Grupo en tres unidades litológicas, pero fue Mégard (1968) quien le atribuye al Grupo Pucará una jerarquía litoestratigráfica interna: Formación Chambará (Noriano - Raetiano), Formación Aramachay (Raetiano superior - Sinemuriano) y Formación Condorsinga (Sinemuriano superior - Toarciano) (Rosas, 1994).

### 2.3.3.1. Formación Chambará

La litología de la Formación Chambará es carbonatada (con contenido alto de CaO: 30-48 wt% y MgO: 4-17 wt%), y consiste predominantemente de dolomías (>80%) localmente intercalada con dolomías calcáreas y calizas (Rosas et al., 2007). Localmente presenta un contenido detrítico de hasta 30% (incluyendo, en promedio, SiO<sub>2</sub>: 12 wt% y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2 wt%) siendo el cuarzo su principal componente (Rosas y Fontboté, 1995). Este contenido, producto del retrabajo de sedimento, llega a valores mayores al 40% en los márgenes de la cuenca. Es común, además, el alto contenido de *chert* presente tanto en nódulos como en capas, asociado a la presencia de espículas de esponjas (Rosas et al., 2007).

Esta unidad estratigráfica consiste esencialmente en sedimentos de aguas someras depositados en condiciones de subsidencia asimétrica (similar a un bloque pivotante). Rosas y Fontboté (1995) sugieren que esta asimetría pudo ser producto de una configuración *semigraben*, tal que el margen oriental de la cuenca habría estado influenciado por un tectonismo sin-sedimentario, mientras que el margen occidental sería relativamente pasivo. Además, indican que el alto grado de subsidencia de este periodo fue compensado por la gran producción de carbonatos; permitiendo así, mantener las condiciones someras.

La transición del rift del Mitu a la tectónica de *postrift* de subsidencia que controla a la Formación Chambará, está marcada por facies sedimentarias que representan la influencia de marea (Rosas et al., 2007). Su modelo sedimentario consiste en facies supra, inter y submareales con desarrollo de laguna y barra. Los pseudomorfos de carbonatos según yeso y anhídrita de las dos primeras facies, indican condiciones áridas de sedimentación (similar a los *sabkhas* del Golfo Pérsico). Las facies laguna, se observa solo en la base de la Formación, y se asocia a periodos de extrema hipersalinidad con

precipitación de evaporitas. Y las facie barra, en cambio, se compone de *grainstone* oolíticas y bioclásticas (Rosas y Fontboté, 1995).

La variación en el espesor de esta Formación (225-1180 metros), junto con su adelgazamiento estratigráfico y asociación espacial con los volcánicos de Yauli en los márgenes de la cuenca, refleja un control estructural asociado al tectonismo tipo *rift* heredado del Mitu (Rosas et al., 2007).

La Formación Chambará se encuentra directa y bruscamente sobreyacida por la Formación Aramachay (Rosas y Fontboté, 1995).

### **2.3.3.2. Formación Aramachay**

Regionalmente, en particular en la región del Altiplano y la Cordillera Oriental, la Formación Aramachay consiste predominantemente en calizas arcillosas bituminosas negras intercaladas localmente con lutitas y limolitas (Rosas, 1994; Rosas et al., 2007). En estas regiones esta unidad, rica en materia orgánica, presenta un valor total de carbono orgánico (TOC) que varía entre 0.3 y 4.04 wt% y un alto contenido de fosfatos (hasta 1 wt% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Rosas et al., 2007). Su parte superior se encuentra fuertemente dolomitizada (90% de dolomita por fracción carbonatada, según Rosas y Fontboté, 1995).

La porción inferior de esta unidad estratigráfica comprende facies sedimentarias de cuenca profunda (Rosas y Fontboté, 1995; Rosas et al., 2007) depositadas en condiciones anóxicas en un ambiente marino epicontinental restringido (Rosas et al., 2007). Debido a sus características anaeróbicas y alto contenido fosilífero con ocurrencia típica de ammonites, su base ha sido interpretada como el momento de mayor alcance de la transgresión marina (Rosas, 1994). En contraste, la porción superior de la Formación corresponde a una plataforma menos restringida, con facies sedimentarias de una cuenca abierta, similar a sedimentos de plataforma marina moderna (Rosas et al., 2007).

Actividad volcánica sin-sedimentaria se encuentra intercalada con las calizas de la porción superior de la Formación Aramachay (Rosas, 1994). Estas intercalaciones de flujos basálticos y andesíticos en Shalipayco (Rosas et al., 2007) y tobas volcánicas en Tingocancha y Malpaso (Rosas, 1994), ha sido asociadas al alto contenido arcilloso que presenta la unidad (Rosas et al., 2007).

A diferencia de la Formación Chambará, esta unidad estratigráfica es más uniforme, presentando potencias entre 100 y 200 metros. Rosas et al. (2007) lo asocia a una deposición que, a escala regional, no ha sido afectada por actividad de fallas. Sin embargo, a lo largo de los márgenes orientales de la cuenca (en San Vicente y Vilcapoma) se han registrado cambios bruscos de espesores, de 8 a 250 metros. En este caso, Rosas et al. (2007) explica la existencia de un compartimento del control estructural, donde los estratos extremadamente delgados junto con la presencia de pseudomorfos de evaporitas reflejarían una deposición en aguas someras.

En el margen occidental de la cuenca, en donde se encuentra la región de Morococha, la Formación Aramachay presenta facies distintas. En particular, menos material carbonáceo y una gran abundancia de  $\text{SiO}_2$  (77.3 wt%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (8.92wt%),  $\text{TiO}_2$  (0.6 wt%) y  $\text{K}_2\text{O}$  (4.0 wt%), reflejadas en sus gruesas capas de *chert* y litología de dolomías ricas en *chert* (Rosas y Fontboté, 1995; Rosas et al., 2007; Ritterbush et al., 2015). Esta composición confiere a los estratos una importante resistencia a la erosión, en oposición con los depósitos finos de cuenca profunda más blandos y erosionables de regiones más orientales. En esas áreas, la base de la Formación Aramachay preserva facies más someras y una comunidad de organismos de plataforma continental dominada por esponjas silíceas (en su mayoría desmoesponjas, con menor hexactinélidos), que recolonizaron el ambiente después de la extinción masiva de metazoos ricos en carbonato a finales del Triásico, antes de la recuperación de la sedimentación carbonatada. La disolución y recristalización

de la sílice de espícula de esponja explica el alto contenido de cementos de sílice y litologías ricas en *chert* que presenta esta unidad (Ritterbush et al., 2015).

La Formación Aramachay se encuentra directamente sobreyacida por la Formación Condorsinga, con un contacto marcado por una reducción en el contenido de componentes volcanopiroclásticos y de TiO<sub>2</sub> (Rosas et al., 2007).

La presencia del ammonite *Arnioceras* de edad Sinemuriano y dataciones hechas en circones de una toba intercalada en distintos afloramientos de esta región, que proporcionan una edad entre 198 y 199 Ma, ratifican la presencia de esta unidad en la región de estudio (Rosas et al., 2016, Olcese y Rosas, 2023).

### **2.3.3.3. Formación Condorsinga**

La litología de la Formación Condorsinga está dominada por calizas, con presencia local de dolomías y dolomías calcáreas en su base. A diferencia de otras formaciones del Grupo Pucará, su contenido de detritos (<3%) y *chert* es menor (Rosas et al., 2007). Este último asociado a un menor contenido de espículas de esponjas (Rosas y Fontboté, 1995). Esta unidad presenta un grado de dolomitización inferior al de la Formación Chambará. Adicionalmente, presenta fósiles (bivalvos, crinoideos y gasterópodos) de asociación marina, y lentes, extensos niveles o pseudomorfos de evaporitas (Rosas et al., 2007).

En el Altiplano y la Cordillera Oriental estas litofacies de la Formación Condorsinga reflejan un regreso a las condiciones sedimentarias de la Formación Chambará, correspondiente a aguas poco profundas, y características de cuenca sobrellenada (Rosas et al., 2007). Sin embargo, se distingue de la Formación Chambará y la porción superior de la Formación Aramachay, por sus facies sedimentarias de aguas más someras (Rosas, 1994). En cuanto a la transición entre la Formación Aramachay y



Condorsinga, en Domo de Yauli, se ha descrito en facies, que reflejan una continuación del ambiente de cuenca abierta no restringida (Rosas et al., 2007). Las facies sedimentarias de esta unidad incluyen una alternancia de sedimentos de barra submareales (*grainstone* oolíticas y bioclásticas), lagunares (*mudstones* laminadas, *wackestones* y *packstones*) y supra/intermareales; conformando ciclos de somerización (Rosas y Fontboté, 1995; Rosas et al., 2007). Esta última facie es un caso especial de esta formación por presentar asociaciones de tipo *sabkha*, reflejadas en su contenido de laminaciones algares y abundantes pseudomorfos de carbonatos según yeso y anhidrita, evidenciando así condiciones evaporíticas (Rosas y Fontboté; 1995). Estudios de reflexión sísmica indican que la acumulación de sal durante este periodo ha sido tan amplia, a escala de cuenca, que ha permitido formar estructuras de diapiros (Rosas et al., 2007).

Actividad volcánica ha sido registrada en esta secuencia carbonatada. En el Domo de Yauli, tobas de la Traquita de Sacracancha y lavas conocidas como Basalto Montero, constituidas en realidad por lavas andesítico-basálticas (Rosas 1994), se registran intercalados dentro de las rocas carbonatadas de la Formación Condorsinga. Esos niveles han sido utilizados como horizontes guías por las diferentes compañías mineras que operan en el Domo de Yauli desde principios del siglo XX. Rosas et al. (2007) relacionó estos extrusivos a zonas de dilatación local a lo largo de una zona de cizalla de dirección NW.

Debido a la deformación y erosión que presenta esta unidad no siempre puede encontrarse. Su espesor a escala regional es desconocido, sin embargo, se estima de 300 a 350 m (Rosas et al., 2007).

#### 2.3.4. Grupo Goyllarisquizga

Denominada por Terrones (1949) como la Formación Sto. Toribio-Buenaventura por encontrarse en dichas localidades (Terrones, 1949; Bendezú, 2007), la secuencia del Grupo Goyllarisquizga aflora extensivamente al norte, noreste y sureste de Morococha. Se la encuentra sobreyaciendo e infrayaciendo concordantemente al Grupo Pucará (Rosas et al., 2007) y las calizas de la Formación Chúlec (Salazar, 1983), respectivamente. Litológicamente corresponde a una serie clástica y calcárea (Terrones, 1949) depositada en un ambiente de delta o de aguas someras (Rosas, 1994). Su base se constituye de un conglomerado rojo grueso compuesto por guijarros redondeados de caliza y sílice dentro de una matriz arenosa de color rojo. Sucediendo a estos depósitos se pueden observar areniscas y lutitas rojas, y al techo, intercalaciones de cuarcitas con estratificación cruzada y lutitas arenosas de color negro a gris oscuro (Terrones, 1949).

Por encima de los niveles de cuarcitas y debajo de las capas de calizas de la Formación Chúlec, aparecen los primeros *sills* (“mantos intrusivos”) de basalto amigdaloides y diabasas porfíricas. Estos mantos se encuentran intercalados con capas de caliza gris fosilífera o margas grises. En el norte (Sto. Toribio) se han reconocido hasta 12 *sills* de espesores que varían entre 3 y 61 metros, mientras que en el sur (Buenaventura), solo se identificaron 3 *sills* de 5 a 15 metros de potencia. El gran incremento del espesor de esta unidad se asocia a la presencia de estos *sills*, llegándose a estimar en el norte más de 500 metros y en el sur más de 300 metros (Terrones, 1949).

A pesar de que la unidad no presenta contenido fosilífero, se la considera como parte del Neocomiano - Aptiano por infrayacer al Albiano (Salazar, 1983).

### ***2.3.5. Unidades del Cretácico Superior***

El Grupo Machay aflora en las periferias del domo de Yauli, al oeste y sureste del distrito de Morococha (Bendezú, 2007). En la región de Tielio, la secuencia carbonatada se encuentra altamente metamorfozada producto de la acción de intrusivos dioríticos y monzoníticos (Terrones, 1949). Se la encuentra sobreyaciendo concordantemente al último *sill* del Grupo Goyllarisquizga (Terrones, 1949) e infrayaciendo discordantemente a las Capas rojas de Casapalca (Rosas, 1994).

En base a las semejanzas litológicas descritas por Terrones (1949) para tres subdivisiones del Grupo Machay, y de Salazar (1983) para las Formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha, Bendezú (2007) las correlaciona directamente.

Esta secuencia estratigráfica en el distrito de Morococha inicia con la Formación Chúlec (Salazar, 1983). Presenta en su base 40 metros de espesor de caliza gris azulada fosilífera con contenido de margas oscuras al tope, seguidas por 9 metros de lutitas gris laminada seguidas de 14 metros de calizas fosilíferas (Terrones, 1949).

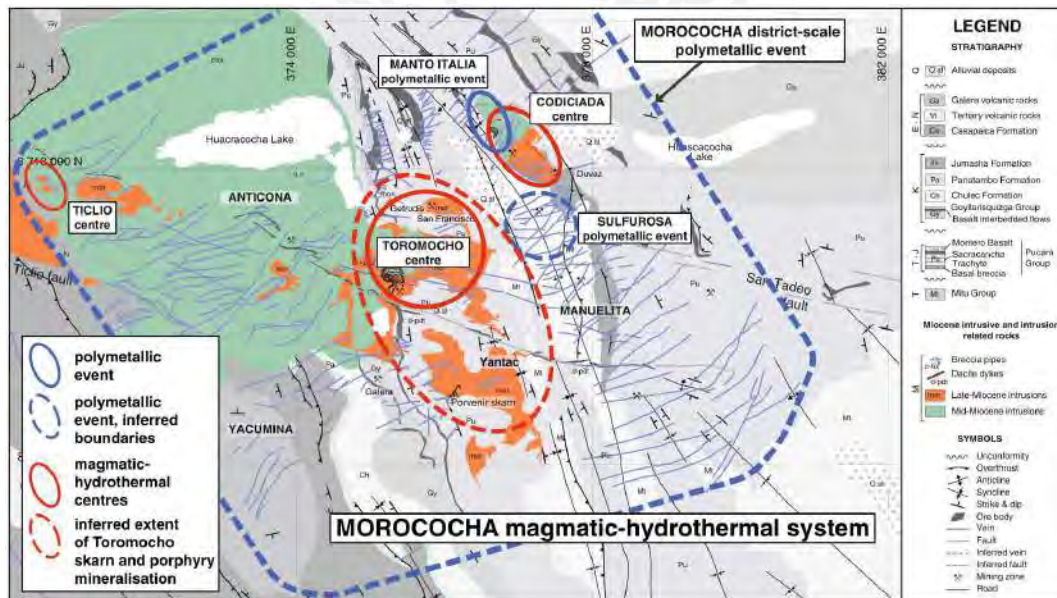
Sobreyaciendo directamente a la Formación Chúlec, se encuentra la Formación Pariatambo (Salazar, 1983). Comprende en la base, 35 a 38 metros de capas de caliza negra carbonosa bien laminada con contenido fosfático (Terrones, 1949). Los últimos 12 metros corresponden a lutitas negras fosilíferas con concreciones fosfáticas (Terrones, 1949).

Finalmente, sobreyaciendo concordantemente a la Formación Pariatambo se encuentra la Formación Jumasha (Salazar, 1983), que corresponde a una serie de calizas grises de 330 metros de espesor. La secuencia inicia con estratos de 5 a 15 metros de espesor, seguidos por bancos estratificados de 30 centímetros a un metro de espesor. Hacia el techo, lutitas rojas o verdes se intercalan con capas de calizas dolomíticas fosilíferas (Terrones, 1949).

Gustavo Steinmann (1930; en Terrones, 1949) le asigna a este Grupo una edad Cretácica Media (Albiano - Cenomaniano).

## 2.4. Geología del yacimiento

En el distrito de Morococha la actividad magmática del Mioceno tardío está caracterizada por múltiples eventos magmáticos intrusivos e hidrotermales localizados, producidos entre 14.3 a 7.3 Ma y 9.3 a 5.7 Ma, respectivamente (Catchpole et al., 2015a; Figura 2-5).



**Figura 2-5:** Resumen de los centros magmático-hidrotermales (contornos rojos) y eventos polimetálicos (contornos azules) en el sistema de Morococha (Catchpole et al., 2015a).

El magmatismo del Mioceno medio – tardío asociado al emplazamiento de la diorita Anticoná ( $14.31 \pm 0.04$  Ma, U-Pb en zircón) y la microdiorita Codiciada ( $14.07 \pm 0.04$  Ma, U-Pb en zircón) carece de mineralización económica (Kouzmanov et al., 2008; Catchpole et al., 2016). La diorita Anticoná, corresponde a la unidad ígnea de mayor área y volumen del distrito de Morococha (Bendezú et al., 2012). Este intrusivo aflora al NO del distrito y hacia el este ha intruido a los sedimentos del Jurásico y Cretácico (Cerro de

Pasco Copper Corporation, 1965); en la parte central este, tiende a inclinarse hacia el oeste reposando subconcordante a los sedimentos del Grupo Pucará (Petersen, 1965); y hacia el oeste, ha intruido a las capas rojas del Terciario inferior (Cerro de Pasco Copper Corporation, 1965).

El magmatismo intrusivo del Mioceno superior en el distrito incluye una serie de stocks porfíricos de composición diorítica, granodiorítica y cuarzomonzonítica que cortan tanto las series sedimentarias como la diorita Anticonca, y cuyas edades varían entre 9.4 a 7.9 Ma. Estos cuerpos ígneos han sido denominados como los “Intrusivos de Morococha” y comprenden las intrusiones Ticlio, San Francisco, Gertrudis, Yantac y los intrusivos polifásicos Codiciada y Toromocho. Un dique porfírico de orientación ESE-WNW y de 6 km de longitud es el último evento magmático registrado en todo el distrito, datado en  $7.26 \pm 0.02$  Ma mediante U-Pb en zircón (Kouzmanov et al., 2008; Kouzmanov, 2009 comunicación personal).

En base a relaciones de corte y dataciones U-Pb, Re-Os y  $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$  en minerales hidrotermales relacionados a pórfidos, Catchpole et al. (2015a) sugieren que el sistema magmático-hidrotermal de Morococha comprende tres centros magmáticos-hidrotermales individuales (Figura 2-5) activos durante el Mioceno tardío: Codiciada, Ticlio y Toromocho; cada uno separado en tiempo y espacio (Figura 2-6). Este sistema magmático-hidrotermal condujo a la formación de yacimientos económicos y sub-económicos de pórfido Cu-Mo, skarn, cuerpos de pirita y mineralización polimetálica (Zn-Pb-Ag-Cu) cordillerana en vetas y cuerpos de reemplazamiento (Figura 1-3); ocupando un área de al menos 50 km<sup>2</sup> (Catchpole et al., 2015a).

## **2.4.1. Centros magmáticos hidrotermales del Mioceno Tardío**

### **2.4.1.1. Centro de Codiciada**

Codiciada es el centro magmático hidrotermal más antiguo del distrito. Se ubica dentro de un área de 1 km<sup>2</sup> (Catchpole et al., 2015a) y comprende intrusiones porfiríticas, skarn de contacto, y un sistema de venillas de cuarzo y molibdenita (Catchpole et al., 2016).

El primer evento hidrotermal de este centro se ha datado en  $9.3 \pm 0.2$  Ma (U-Pb en titanita) correspondiente a una fase de alteración sódica-cálcica y de skarn de diópsido, las vetas de cuarzo con contenido de molibdenita, que cortan a la microdiorita de Codiciada y son de edad de  $9.26 \pm 0.03$  Ma (Re-Os en molibdenita). Ambas edades comparadas con dataciones de U-Pb en zircón de las otras dos intrusiones de pórfido dentro del intrusivo polifásico de Codiciada, indica un lapso  $<0.2$  Ma entre el emplazamiento de la intrusión del pórfido y la mineralización de tipo skarn y pórfido (Catchpole et al., 2015a).

### **2.4.1.2. Centro de Ticlio**

El centro magmático-hidrotermal de Ticlio incluye un stock de pórfido con mineralización sub-económica de Cu-Au y una zona de *stockwork* de cuarzo, magnetita y escasa calcopirita asociada con intensa alteración potásica (Catchpole et al., 2016). Este centro tuvo una duración máxima de 0.3 Ma correspondiente al periodo desde la intrusión del pórfido ( $8.04 \pm 0.14$  Ma: U-Pb en zircón) hasta su mineralización ( $8.31 \pm 0.03$  Ma: enfriamiento de la muscovita de la alteración filica datado por  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ). Este breve lapso de tiempo sugiere un único pulso magmático-hidrotermal para el centro de Ticlio (Catchpole et al., 2015a).

El centro de Ticlio se considera un centro magmático individual debido a que se ubica a ~ 5 km al oeste del centro de Toromocho; sin embargo, coincide temporalmente con el primer evento magmático de Toromocho (Catchpole et al., 2015a).

#### **2.4.1.3. Centro de Toromocho**

Toromocho es el centro magmático hidrotermal más joven del distrito, cuya actividad magmática más precoz identificada inició a ~1.1 Ma después de las intrusiones de los pórfidos de Codiciada. Este centro incluye un mínimo de cinco intrusiones emplazadas durante un periodo de aproximadamente 1.3 Ma. Este periodo inició con el emplazamiento de una granodiorita porfirítica ( $8.45 \pm 0.05$  Ma: U-Pb en zircón) y culminó con la intrusión de un dique dacítico porfirítico ( $7.26 \pm 0.02$  Ma: U-Pb en zircón) (Catchpole et al., 2015a).

Este centro registró por lo menos dos fases hidrotermales separadas: una fase que produjo mineralización económica del tipo pórfido a  $7.97 \pm 0.11$  Ma –  $7.77 \pm 0.05$  Ma (ambas dataciones de Re-Os en molibdenita), y otra de skarn a 7.2 – 6.8 Ma (cinco edades de enfriamiento  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , para cinco minerales que contienen K), que en conjunto forman el pórfido gigante de Cu-Mo de Toromocho (Catchpole et al., 2016; Catchpole et al., 2015a). Las edades de enfriamiento (~7.2 – 6.8 Ma), diferenciadas dentro de un área mayor a 6 km<sup>2</sup>, marcan el final del centro magmático-hidrotermal de Toromocho después de la última actividad magmática a  $7.26 \pm 0.02$  Ma (Catchpole et al., 2015a).

Por su parte, la formación de vetas Cordilleranas de metales de base ( $5.72 \pm 0.18$  Ma y  $5.78 \pm 0.10$ ; edad de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en adularia y muscovita) y los cuerpos de reemplazo polimetálicos del Manto Italia ( $6.0 \pm 0.2$  Ma y  $6.23 \pm 0.12$ ; edades de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre adularia), han sido interpretadas como el resultado de un evento hidrotermal 0.5 Ma posterior a la última mineralización de tipo pórfido registrada (Catchpole et al., 2015a).

La actividad hidrotermal del distrito cesó después de la formación de las venas polimetálicas cordilleranas (Catchpole et al., 2015a).

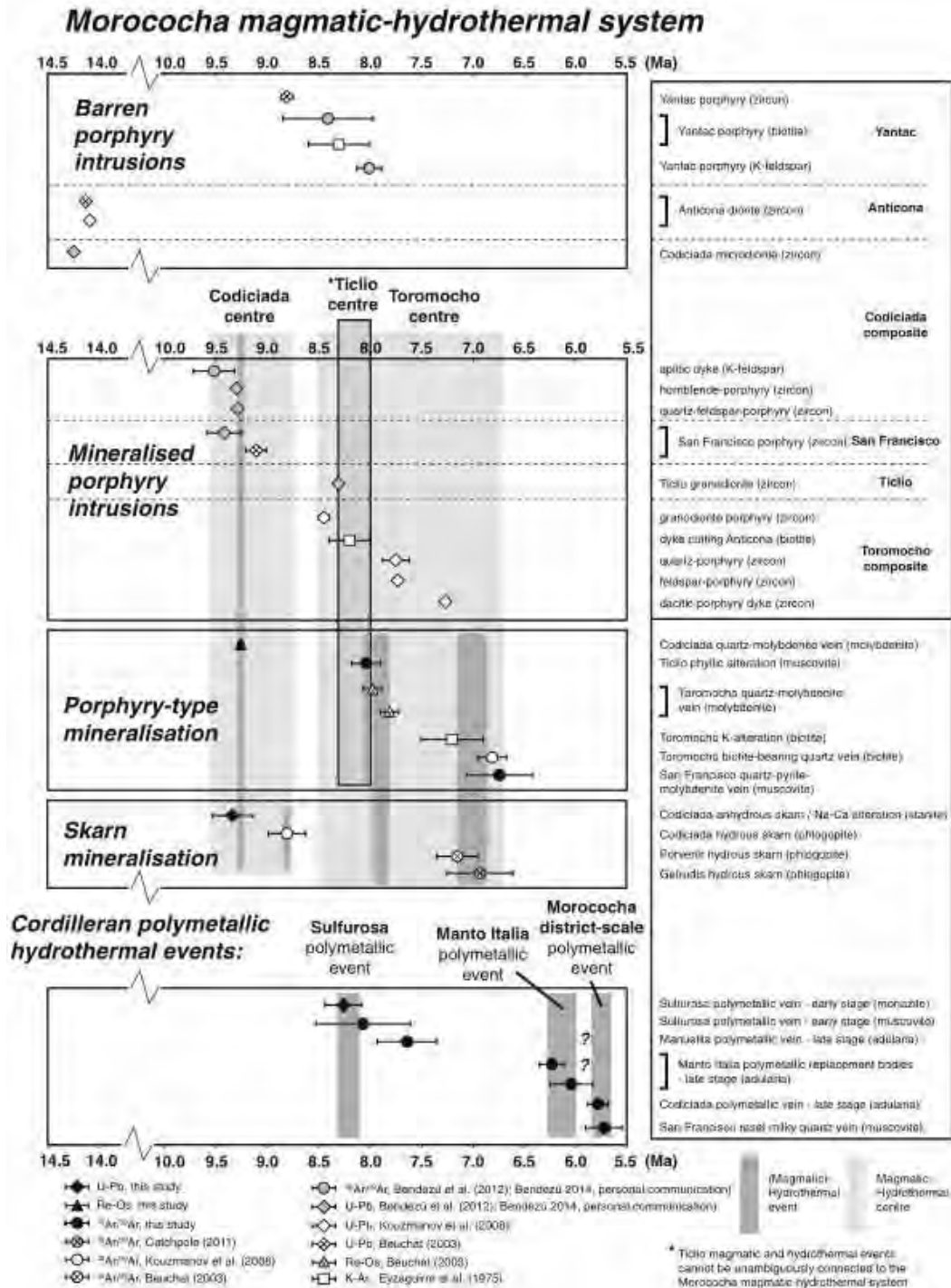


Figura 2-6: Resumen de las edades de los eventos magmáticos hidrotermales, ocurridos durante el Mioceno medio al tardío, en el sistema magmático-hidrotermal de Morococha (Catchpole et al., 2015a).



## 2.4.2. Estilo hidrotermal de mineralización

### 2.4.2.1. Mineralización tipo pórfido

El pórfido gigante de Cu-Mo de Toromocho es el único depósito económico conocido de este tipo en el distrito de Morococha. Ocupa la parte central del distrito y es parte de un sistema magmático-hidrotermal complejo que estuvo activo durante más de 2 Ma (Catchpole et al., 2015b). La mineralización en este depósito comprende dos tipos: (i) *stockwork* con venas de cuarzo-calcopirita ± cuarzo - pirita y calcocina (esta última un producto de enriquecimiento superficial) y cuarzo-pirita-molibdenita, hospedadas en zonas de alteración potásica y filica; y, (ii) mineralización de Cu diseminado asociado a alteración potásica, común en chimeneas hidrotermales de brechas en el centro del depósito (Catchpole et al., 2015 a,b).

Entre los pórfidos sub-económicos registrados en el distrito, se pueden mencionar (Catchpole et al., 2015 a,b): (i) el stock de San Francisco, con mineralización en venas de cuarzo-molibdenita asociada a alteración potásica pervasiva y una sobreimpresión de alteración filica; (ii) el stock compuesto de Codiciada, con una fuerte alteración Na-Ca y moderada alteración potásica, sobreimpresas por alteración filica, y mineralización de vetas de cuarzo-pirita-calcopirita ± pirrotina y cuarzo-molibdenita; y (iii) el pórfido de Ticlio, con mineralización zonada y patrones de alteración, que comprende un núcleo de alta densidad de vetillas tipo *stockwork* de cuarzo-magnetita ± feldespatos potásicos, que cambia hacia el exterior a una zona de menor densidad de vetillas de cuarzo-magnetita, con pequeñas cantidades de inclusiones de bornita y oro nativo en calcopirita.

#### 2.4.2.2. *Mineralización tipo skarn*

En el distrito de Morococha mineralización tipo skarn está espacialmente asociada a varias intrusiones de pórfidos conocidos como el stock compuesto de Codiciada, el stock de Gertrudis, el stock de San Francisco, el stock de Yantac, el stock compuesto de Toromocho y el stock de Tielio (Catchpole et al., 2015a). Donde estas intrusiones entraron en contacto con dolomitas o calizas dolomíticas del Grupo Pucará o del Cretácico Superior, se desarrollaron diferentes tipos de skarn, incluyendo: exoskarns de magnetita-serpentina y endoskarns de diópsido-granate; ambos parcialmente hidratados a epidota, anfíbol, talco y clorita (Catchpole et al., 2008; Ageneau, 2008), a menudo con contenido de magnetita, ludwigita ( $Mg_2Fe(BO_3)O_2$ ) y mineralización polimetálica que incluye pirita, pirrotita y enargita (Nagell, 1960; Petersen, 1965) donde los carbonatos dolomíticos del Grupo Pucará, principalmente del Jurásico, están en contacto con intrusiones pórfiríticas (Catchpole et al., 2008). Existe, además, pequeñas zonas de reemplazamiento de los pórfidos del Mioceno por endoskarn de diópsido-grosularia con eventual contenido de espinela, en el contacto con las rocas carbonatadas del Grupo Pucará (Catchpole et al., 2015a).

Los cuerpos de skarn más antiguos se encuentran en la zona de Codiciada y no contienen mineralización económica. Sin embargo, los cuerpos metasomáticos magnesianos más jóvenes (7.2–6.9 Ma,  $^{40}Ar / ^{39}Ar$  en flogopita) hospedados en las calizas dolomíticas y dolomías de la Formación Chambará y de la Formación Jumasha, incluyendo el Manto Italia, tienen un interés económico (Catchpole et al., 2016). La mineralización polimetálica de Zn-Pb-Ag-Cu se aloja en estos cuerpos metasomáticos y está acompañada por un conjunto de minerales hidratados de skarn, o se encuentran directamente reemplazando las rocas carbonatadas sin desarrollo de ganga de calcosilicatos (Catchpole et al., 2015a; 2016). La mineralogía de estos cuerpos consiste

en pirita, calcopirita, esfalerita pobre en hierro, galena, tetraedrita-tennantita y hubnerita en una ganga de cuarzo, carbonatos y adularia (Catchpole et al., 2016).

#### **2.4.2.3. Cuerpos de pirita**

Los cuerpos de reemplazamiento conformados por pirita masiva, encontrados en el centro del distrito minero de Morococha, son esencialmente estériles. Sin embargo, llegan a ser de interés económico donde venas polimetálicas posteriores los intersecan e introdujeron sulfuros de Zn-Pb-Ag-Cu (Catchpole et al., 2015a).

Todos los cuerpos de pirita reemplazan las rocas carbonatas fracturadas del Grupo Pucará; ya sea en su contacto con rocas del Grupo Mitu, o a lo largo de su contacto con intrusiones porfiríticas. Estos cuerpos de pirita pueden tener una textura bandeada con alternancia de pirita de grano grueso y fino, “imitando” las capas de carbonato anteriores, y generalmente están compuestos de ~ 80 a 90 vol.% de pirita, el resto del volumen es cuarzo y cantidades accesorias de rutilo. Los cuerpos intrusivos porfiríticos y las rocas volcánicas Catalina en contacto con estos cuerpos, muestran una intensa alteración a sericita y clorita (Catchpole et al., 2015a).

#### **2.4.2.4. Vetas y cuerpos de reemplazamiento polimetálico de tipo**

##### ***Cordillerano***

En el distrito de Morococha tres eventos hidrotermales polimetálicos Cordilleranos han sido identificados: (i) el evento discreto de Sulfurosa ( $8.26 \pm 0.18$  Ma: U-Pb en monacita), (ii) el evento de Manto Italia ( $6.23 \pm 0.12$  Ma:  $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$  en adularia), y (iii) el evento de escala distrital de Morococha ( $5.78 \pm 0.10$  Ma:  $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$  en adularia). Estas dataciones muestran que el evento polimetálico de Sulfurosa es anterior en hasta

1.5 Ma, a varias intrusiones magmáticas y la mineralización de tipo pórfido del centro de Toromocho, y que además está separado en  $\sim 2.6$  Ma del evento polimetálico de Morococha. Eso indica que la mineralización polimetálica Cordillerana puede haberse formado como consecuencia de varios pulsos individuales magmático-hidrotermales, similares a la mineralización de tipo pórfido y skarn, e incluso ser en parte anterior a la mineralización de tipo pórfido (Catchpole et al., 2015a).

El último evento polimetálico se denomina Morococha, el cual formó cuerpos de reemplazamiento y vetas polimetálica (Zn-Pb-Ag-Cu) de tipo Cordillerano. Esta mineralización constituye el último estilo de mineralización presente en Morococha y corresponde al evento más importante y de escala distrital que cubre un área de  $50 \text{ km}^2$  (Catchpole et al., 2015b).

Los cuerpos de reemplazamiento de carbonato son chimeneas verticales en contacto con cuerpos intrusivos, y mantos o cuerpos irregulares a lo largo de las zonas de falla. Estos cuerpos de sulfuros masivos se formaron donde las vetas cordilleranas de metales de base interceptaron fallas o contactos litológicos que actuaron como conductos para el fluido hidrotermal (Catchpole et al., 2015a).

Las vetas cordilleranas de metales de base se alojan en fracturas de alto buzamiento, de dirección NNE- ENE que superan 1 km de extensión vertical y 2 km de extensión horizontal. A escala distrital las vetas presentan buen zonamiento, distinguiéndose cuatro zonas de metales de base: una zona central rica en Cu, una zona intermedia de Zn-Cu y zonas externas que van de Zn-Pb-Ag a Ag-Pb. Esta mineralización, a su vez, se formó durante tres etapas principales: (i) la primera etapa se caracteriza por vetas estériles de cuarzo-pirita con halos de alteración sericitica; (ii) en la segunda etapa ocurre la precipitación de minerales de Zn, Pb, Ag y Cu; y (iii) la tercera etapa se caracteriza por abundante rodocrosita rosada y cuarzo. (Catchpole et al., 2015b;

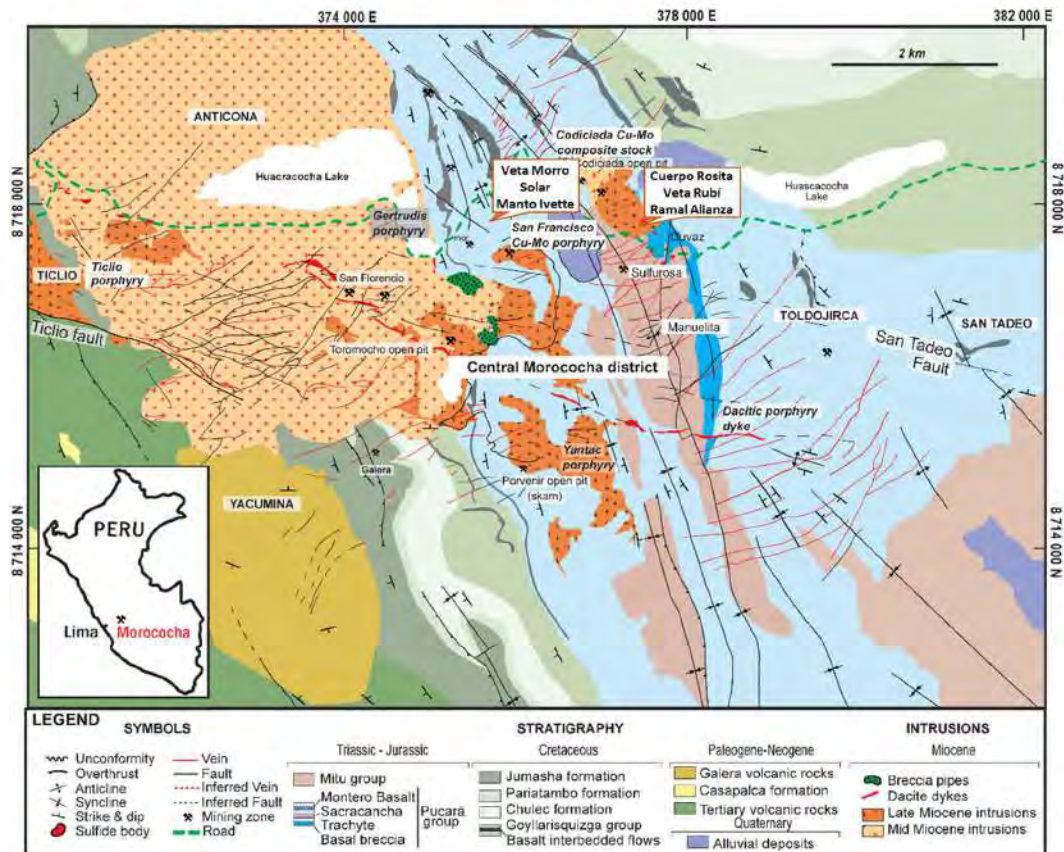
Figura 1-3). Los sulfuros y sulfosales de metales de base más abundantes en estas vetas son esfalerita, galena, tennantita-tetraedrita, calcopirita y enargita. El contenido de Ag en estos minerales principalmente es a nivel de traza o de elemento menor, en tennantita-tetraedrita y como telurio de Ag (hessita), mientras que la galena generalmente es pobre en Ag (Catchpole et al., 2015a, b).

### **3. METODOLOGÍA: MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS**

#### ***3.1. Trabajo de Campo***

A mediados de febrero del 2019 se realizó el estudio de campo en la Mina Morococha operada por la Compañía Minera Argentum S.A. Este consistió en el reconocimiento de afloramientos subterráneos, así como, de la recolección de muestras de frentes de explotación y de sondajes diamantinos para análisis petrográficos y geoquímicos. La elección de muestras estuvo en función a la presencia de mineralización de sulfuros asociados a cuerpos de anhidritas.

Se recolectaron un total de 40 muestras: 11 de frentes de explotación del Nivel 4025, que incluyen 3 muestras de la Veta Morro Solar y 8 muestras del Manto Ivette; y 29 muestras de testigos diamantinos, incluyendo 7 muestras del Manto Ivette, 8 del Cuerpo Rosita y la Veta Rubí, y 2 del Ramal Alianza. La ubicación de las vetas y cuerpos de reemplazamiento muestreados, se presentan en la Figura 3-1 dentro del mapa modificado de Catchpole et al. (2015). Desde la muestra 2019-MOR-001 hasta la 2019-MOR-011 corresponden a muestras de frente de explotación en la zona de Alapampa; y a partir de la muestra 2019-MOR-012 hasta la muestra 2019-MOR-040 corresponden a muestras de sondajes diamantinos de la zona de Codiciada. La Tabla A.1 - 2: detalla el código de las muestras, su ubicación, y el tipo de análisis que se realizó.



*Figura 3-1: Mapa geológico del distrito minero de Morococha mostrando la ubicación de las vetas y cuerpos muestreados (modificado de Catchpole, 2015b).*

### 3.2. Análisis de laboratorio

De las muestras recolectadas en la unidad minera de Morococha y en base a observaciones de muestras de mano, se seleccionaron un total de 15 muestras representativas para este estudio. Se prepararon un total de 23 secciones pulidas y 16 láminas delgadas. Las primeras fueron confeccionadas por preparadores externos; mientras que las secciones pulidas fueron realizadas en los laboratorios de Mecánica de Rocas y Qemscan de la Sección Ingeniería de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). El detalle de la metodología de preparación de muestra está disponible en Stipetich (2019).

### ***3.2.1. Microscopía óptica***

Los estudios de microscopía óptica de las láminas delgadas y secciones pulidas permitieron el reconocimiento de la mineralogía (minerales transparentes y opacos) que componen las muestras, así como del lugar que ocupan los minerales dentro de la secuencia paragenética del depósito.

Los estudios de microscopía óptica se realizaron en el Laboratorio de Microscopía de la misma Sección de Ingeniería de Minas, empleando un microscopio de polarización de luz transmitida y luz reflejada de marca “Zeiss Primotech” equipado con cámara digital. Se analizaron 16 láminas delgadas bajo luz transmitida y 23 secciones pulidas bajo luz reflejada. El estudio incluyó fotografías de las zonas más representativas.

### ***3.2.2. Difracción de Rayos X (DRX)***

Se seleccionaron 2 muestras para análisis de DRX, teniendo como finalidad determinar la pureza de la muestra considerada como anhidrita sedimentaria 2019-MOR-002 y la composición de la muestra 2019-MOR-009.

La metodología seguida consistió en recolectar una fracción representativa de la muestra en una cantidad de aproximadamente 2 g. Esta fracción fue triturada manualmente empleando un mortero de ágata y luego depositada en un portamuestra cilíndrico (de 2.5 mm de altura y 16 mm de diámetro) con el cuidado de lograr una superficie plana requerida para una correcta lectura.

El análisis se llevó a cabo en el Centro de Caracterización de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (CAM-PUCP), empleando un equipo Bruker D8 Discover en geometría Bragg-Brentano  $\theta/2\theta$  con radio de 240 mm, 45 kV-40 mA y radiación de Cu  $K\alpha$  filtrada ( $k=1.5418 \text{ \AA}$ ). El procesamiento de los resultados, que incluye

eliminar el fondo de los patrones, detectar picos y asignar las fases minerales, se empleó el software XPert Highscore ©.

### ***3.2.3. Geoquímica de isótopos***

Las composiciones de isótopos estables de C y O se analizaron en muestras de carbonatos (rodocrosita y calcita) de la roca caja carbonatada (Formación Chambará) y de carbonatos asociados a la mineralización de la Veta Morro Solar y del Cuerpo Rosita. Las composiciones de isótopos de S, O y Sr se analizaron en muestras de anhidrita y de S para sulfuros coexistentes de la Veta Morro Solar y del Manto Ivette. Las muestras de anhidritas analizadas incluyen 1 muestra de anhidrita masiva alejada de la mineralización (2019-MOR-002) y 5 muestras de anhidrita en áreas mineralizadas. Los sulfuros analizados incluyen 4 muestras de pirita y 5 muestras de esfalerita. Los análisis de isótopos de carbono y estroncio fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Barcelona y la Universidad de Lausanne, respectivamente. Los análisis de isótopos de azufre y oxígeno se realizaron en la Universidad de Ginebra.

Para los análisis de isótopos se inició con la separación de los minerales de sulfuro y sulfato mediante técnicas de recolección manual. De cada muestra seleccionada se clasificó por separado los granos de sulfuros individuales y los nódulos de sulfato. La pureza de las muestras fue verificada mediante un análisis bajo microscopio binocular; y adicionalmente, se realizaron análisis DRX en dos muestras correspondientes a la anhidrita sedimentaria alejada de la mineralización y otra asociada espacialmente a la mineralización (los resultados se presentan en la sección 4.4).

Para los análisis de isótopos de: (i) carbono y oxígeno: se han recolectado granos de carbonatos de 6 muestras para realizarse de 2 a 3 análisis en cada una; (ii) azufre: se seleccionaron 9 muestras para la recolección de granos de sulfuros y 6 muestras para



anhidritas; (iii) estroncio: se seleccionaron 6 muestras para la recolección de granos de anhidritas; y, (iv) oxígeno: se recolectaron granos de anhidrita de 6 muestras (Tabla A.1 - 2: ).

Se analizaron un total de 9 muestras de sulfuros y 6 de sulfato para determinar su composición de isótopos de azufre en el Instituto de Dinámica de la Superficie de la Tierra de la Universidad de Lausanne (Suiza) utilizando un analizador elemental (EA) Carlo Erba 1108 conectado a un espectrómetro de masas de relación de isótopos (IRMS) Thermo Fisher (Bremen, Alemania) Delta V Plus que se operó en el modo de flujo continuo de helio a través de una interfaz dividida Conflo III (Spangenberg et al., 2010). La composición de isótopos estables del azufre se informa en la notación delta ( $\delta$ ) como la desviación por mil (‰) del ratio de isótopos en relación con los estándares conocidos:  $\delta = [(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}] \times 1000$ , donde R es el ratio de isótopos pesados a ligeros ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ). El estándar de azufre usado fue el *Vienna Cañon Diablo Troilite* (VCDT). El gas  $\text{SO}_2$  de referencia se calibró frente al patrón de referencia de isótopos de azufre ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) del OIEA-S-1 con un valor de  $\delta^{34}\text{S}$  de  $-0.3$  ‰. La normalización de los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  medidos a la escala VCDT y la evaluación de la reproducibilidad analítica general de los análisis de EA / IRMS se realizaron mediante análisis repetidos de estándares de laboratorio (sulfato de bario, con un valor de trabajo de  $\delta^{34}\text{S}$  de  $+12.7$  ‰; pirita E,  $\delta^{34}\text{S} = -6.7$  ‰) y materiales de referencia internacionales (MR) IAEA-S-1, IAEA-S-2 y IAEA-S-3 sulfuros de plata ( $-0.3$  ‰,  $22.62 \pm 0.16$  ‰ y  $-32.49 \pm 0.16$  ‰, respectivamente) y baritas NBS-127, IAEA-S-5 e IAEA-S-6 ( $21.12 \pm 0.22$  ‰,  $0.49$  ‰ y  $-34.05$  ‰, respectivamente). Los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  de los MR son de Brand et al. (2014). La reproducibilidad analítica general de los análisis EA / IRMS fue mejor que  $\pm 0.3$  ‰ (1 DE). La precisión de los análisis de  $\delta^{34}\text{S}$  se verificó periódicamente mediante análisis de los MR.

La composición isotópica de oxígeno de las muestras de sulfato (anhidrita) se midió mediante un analizador elemental de conversión de alta temperatura Thermo Finnigan (TC / EA) acoplado a un espectrómetro de masas de relación de isótopos (IRMS) Delta Plus XL descrito anteriormente (Lavrić y Spangenberg, 2003; Dold y Spangenberg, 2005). Para algunas muestras se utilizó un sistema Thermo Scientific™ EA IsoLink™ IRMS, con el analizador elemental CHNOS acoplado a un MAT 253 IRMS. Brevemente, muestras de 0.1-0.2 mg se envolvieron en cápsulas de plata y se redujeron completamente en el TC / EA, en el que el oxígeno se convirtió en CO bajo un flujo de helio a 1450 °C en un reactor de carbono vítreo con un tubo exterior de óxido de aluminio. Una corriente de helio transporta los gases producidos durante la combustión a través de una columna cromatográfica, para la separación del CO, que luego ingresa al espectrómetro de masas. Se inyectó gas CO de referencia como pulsos de gas estándar puro. Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  medidos se normalizaron a la escala V-SMOW utilizando sulfatos de bario de referencia internacional NBS-127 (+ 8.59 ‰) y OIEA SO-5 (+ 12.13 ‰) y SO-6 (-11.35 ‰). La reproducibilidad de las mediciones de TC / EA / IRMS y EA IsoLink IRMS, evaluada mediante análisis replicados de los estándares de laboratorio de sulfato de bario (UNIL, + 14.0 ‰; UVA, + 12.4 ‰) fue mejor que 0.3 ‰ (1 SD).

### ***3.3. Análisis del modelo geológico 3D de Morococha***

El análisis de la relación espacial de las anhidritas con las vetas y cuerpos de reemplazamiento de Morococha se realizó a partir al modelo geológico generado por los geólogos de mina de la Compañía Minera Argentum S.A, quienes basaron su interpretación en función del logueo de sondajes de perforación diamantina y al mapeo de galerías. A fines de agosto de 2020 el área de Geología de Mina compartió vistas tridimensionales del modelo geológico 3D de la veta Morro Solar y el Manto Ángela Este,

y secciones longitudinales de la Veta Morro Solar todas ellas de la zona de Alapampa. Adicionalmente, toda interpretación generada en este estudio fue realizada en colaboración con los geólogos de mina (Abel Zorrilla, Erick Valencia, Julio Zárate, Rubén Díaz, Jessica Huamantalla).

## 4. RESULTADOS

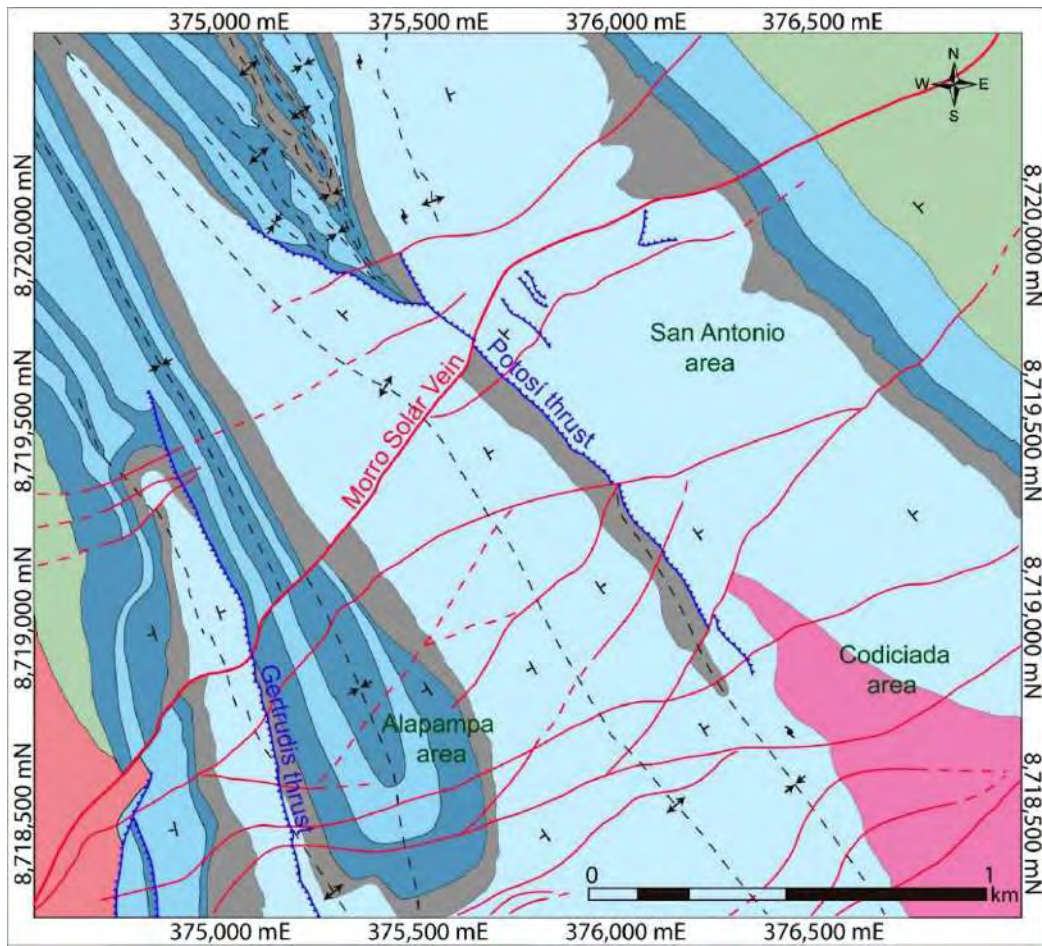
### *4.1. El MAC y sus asociaciones con los cuerpos minerales de Morococha*

En el límite entre el Grupo Mitu y el Grupo Pucará, al norte del MAC y cerca de la falla Morro Solar (Figura 4-1), se ha reportado un nivel continuo de evaporitas de 50 a 150 metros de potencia con presencia de lentes de calizas y material volcánico arrastrados del Grupo Pucará y Mitu, respectivamente (Figura 4-2). Mineralización polimetálica de tipo manto ha sido registrada dentro de los lentes de caliza, contenidos dentro de las capas de anhidritas, pero solo en aquellos intersecados por vetas polimetálicas. Asociados a los cuerpos de remplazamiento se produjo removilización de las anhidritas, que se presentan recristalizadas, como inyecciones en la caliza y en las vetas mismas, así como reemplazamiento local por cristales de yeso.

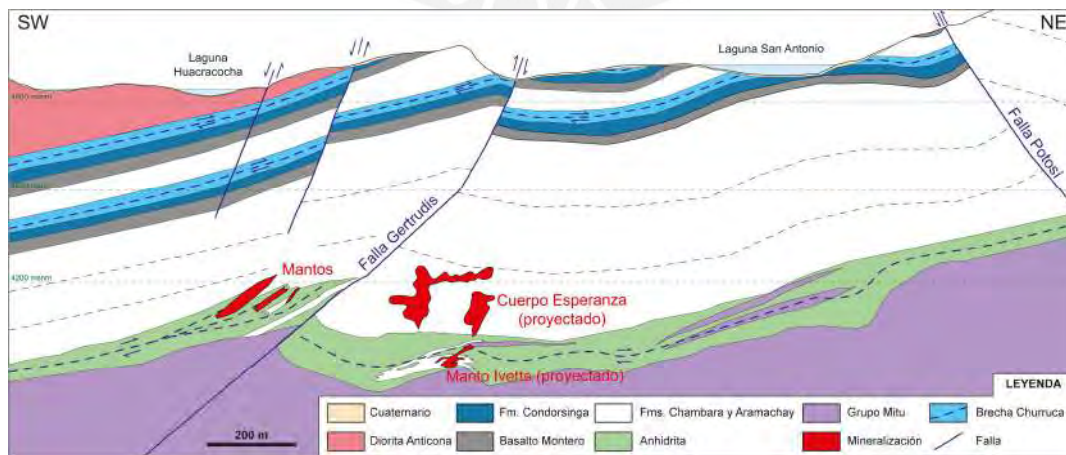
Se ha registrado presencia de anhidrita dentro de la Veta Morro Solar desde la posición del Manto Ivette hasta donde se encuentra la raíz del Cuerpo Esperanza; y no se ha registrado contenido importante de anhidrita dentro de la Veta Morro Solar por encima de este nivel (Figura 4-3).

El Manto Ángela este, ubicado al suroeste del Cuerpo Esperanza, se encuentra ubicado en una cuña de caliza limitada por el contacto Mitu - Pucará y un nivel grueso e impermeable de anhidritas (Figura 4-4). De manera similar, le ocurre a su contraparte

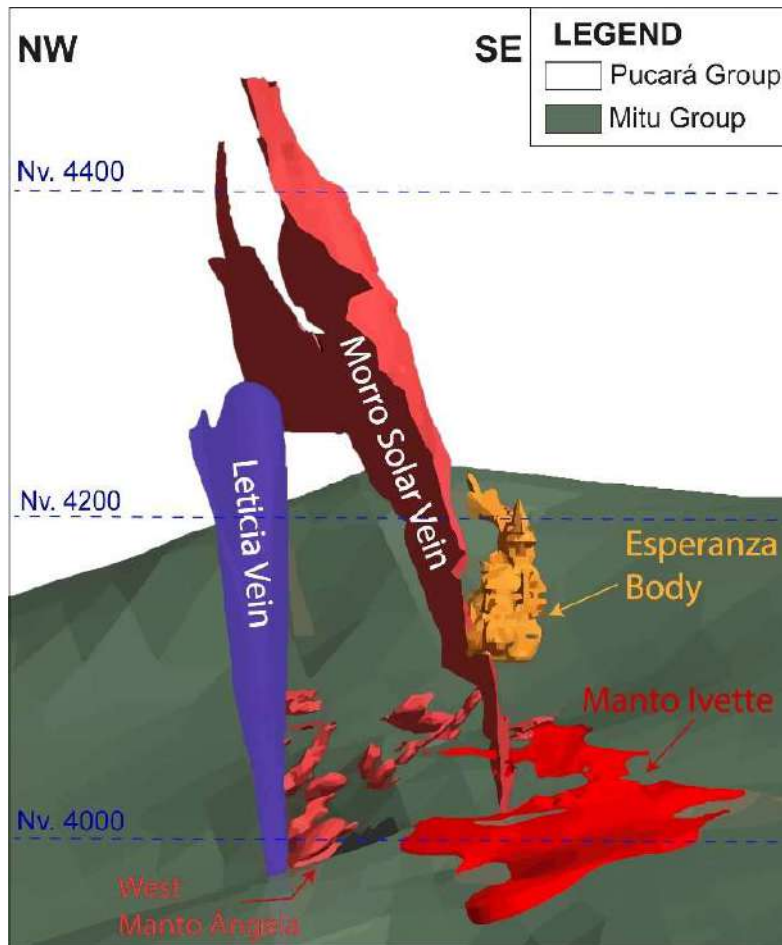
occidental, el Manto Ángela oeste. Ambos mantos tienen como *feeder* a la Veta Leticia (Figura 4-3).



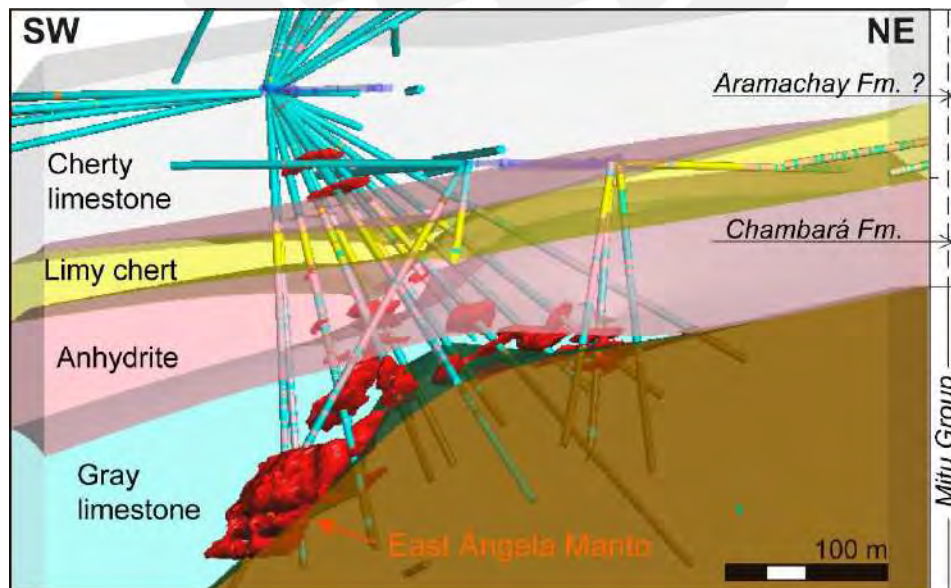
**Figura 4-1:** Mapa geológico simplificado de la parte norte del distrito de Morococha (modificado del reporte interno de Cia. Minera Argentum S.A.).



**Figura 4-2:** Sección longitudinal de la veta Morro Solar con proyección del Cuerpo Esperanza y del Manto Ivette (Pan American Silver, 2020).



**Figura 4-3:** Vista tridimensional de la veta Morro Solar en el área de Cuerpo Esperanza y del Manto Ivette (Pan American Silver, 2020).



**Figura 4-4:** Vista tridimensional del Manto Ángela este en la zona de Alapampa (modificado de Pan American Silver, 2020).

#### 4.1. Microscopía óptica

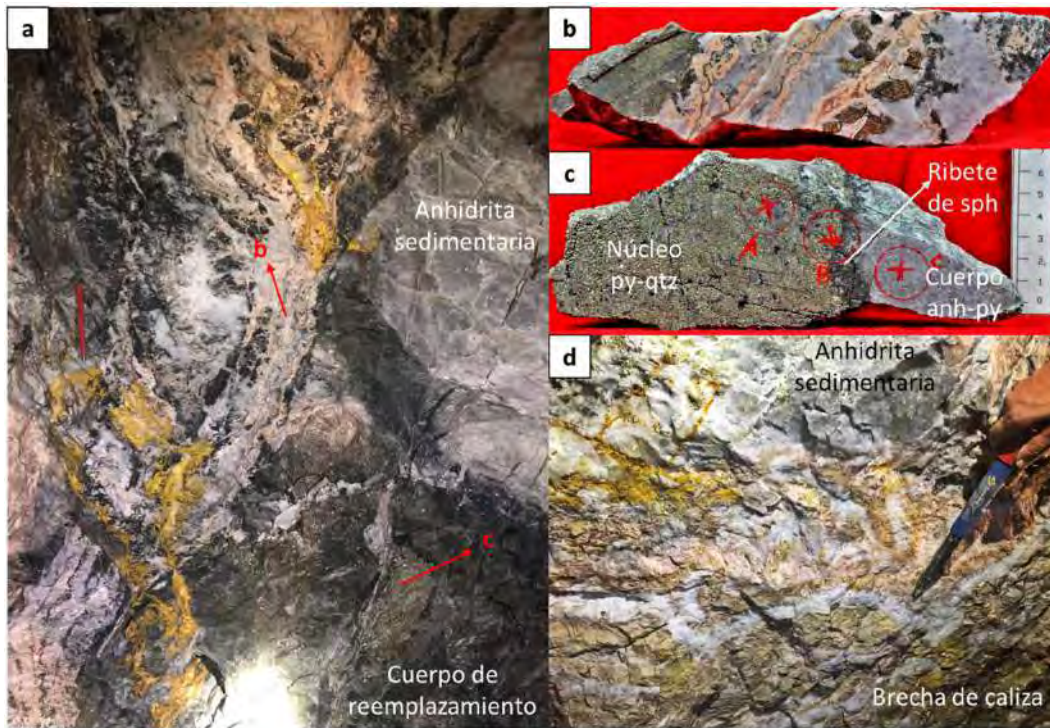
Las descripciones se han enfocado principalmente en la mineralogía y secuencia paragenética de la Veta Morro Solar y el Manto Ivette, que son representativos de la variedad de estructuras mineralizadas observadas en el campo. En la Tabla A.1 - 3: se resume la mineralogía, texturas y alteraciones encontradas en cada muestra. La descripción detallada de cada lámina delgada y sección pulida se presenta en el Anexo 2. La mineralogía y secuencia paragenética registrada para ambos casos es similar, diferenciándose por el contenido de minerales traza. En ambos depósitos se han definido diferentes estados de removilización de anhidrita, así como diferentes generaciones de cuarzo, pirita, esfalerita, calcopirita, cobres grises (serie de la tennantita-tetraedrita) y galena, junto con otros minerales mayoritarios como: carbonatos, barita, hubnerita, plagioclasa y yeso, y minerales accesorios como el rutilo, y la presencia de minerales traza como bornita, digenita, covelita, estannoidita ( $\text{Cu}^{+6}\text{Cu}^{+2}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Zn})_3\text{Sn}_2\text{S}_{12}$ ), vinciennita ( $\text{Cu}^{+7}\text{Cu}^{+3}_2\text{Fe}^{+2}_2\text{Fe}^{+2}_3\text{Sn}(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_{16}$ ), aikinita ( $\text{PbCuBiS}_3$ ), telurobismutita, telurio nativo y electrum. La secuencia paragenética de los sulfuros principales, minerales transparentes de ganga y los minerales traza ha sido definida en base a relaciones de corte observados en los afloramientos de los frentes de explotación, en muestras de mano, así como en muestras bajo microscopio polarizante.

En el Nivel 4025 correspondiente al frente de explotación de la Veta Morro Solar (Figura 4-5), se ha identificado un afloramiento conformado inicialmente por el contacto entre roca caliza y un nivel de anhidrita paralelo a la estratificación general, consecuentemente interpretado como parte integrante de la secuencia sedimentaria inicial. Dicho nivel de calizas posteriormente ha sido, en gran parte, brechado y reemplazado, conformando un cuerpo de reemplazamiento, dentro del cual se registra la presencia de un núcleo de pirita-cuarzo rodeado por un ribete de esfalerita al contacto con

un cuerpo de anhidrita-pirita. Vetas de calcopirita posteriores intersecan el afloramiento, y a su vez son intersecadas por vetas de anhidrita removilizada, seguido por vetas de carbonatos tardíos.

Por tanto, se ha registrado anhidrita de la secuencia sedimentaria inicial, así como diferentes fases de removilización de la misma. La anhidrita sedimentaria (anh 1) se observa, en el frente de explotación de la Veta Morro Solar en el Nivel 4025, como relictos en los clastos de caliza que conforman una brecha cercana (Figura 4-6a). Se han registrado como mínimo tres fases de removilización de anhidrita: (i) anh 2, que corresponde a los cristales de anhidrita remanentes en el interior de los cristales de sulfuros y cuarzo euhedral del cuerpo anhidrita-pirita (Figura 4-6b); (ii) anh 3, que corresponde a fases no diferenciadas que incluyen: la matriz de anhidrita del cuerpo anhidrita-pirita, la matriz de las brechas de calizas, los nódulos registrados en el interior del cuerpo de pirita-cuarzo (Figura 4-6c), donde se ha encontrado mineralización de sulfuros que crecieron entre los intersticios de los cristales de anhidrita; y (iii) anh 4, que corresponde a la anhidrita que conforma vetas tardías libres de mineralización (Figura 4-6d).

Las diferentes generaciones de cuarzo se describen como: (i) qtz 1: cuarzo anhedral de grano fino (Figura 4-7a); (ii) qtz 2: cuarzo euhedral a subhedral zonado con relictos de anhidrita (anh 2) en su interior (Figura 4-7b); (iii) qtz 3: formando vetas tardías, que cortan nódulos de anhidrita (anh 3) (Figura 4-7c); y (iv) qtz 4: cristales anhedrales de grano fino precipitados gravitacionalmente sobre cristales de carbonatos y barita (Figura 4-7d).

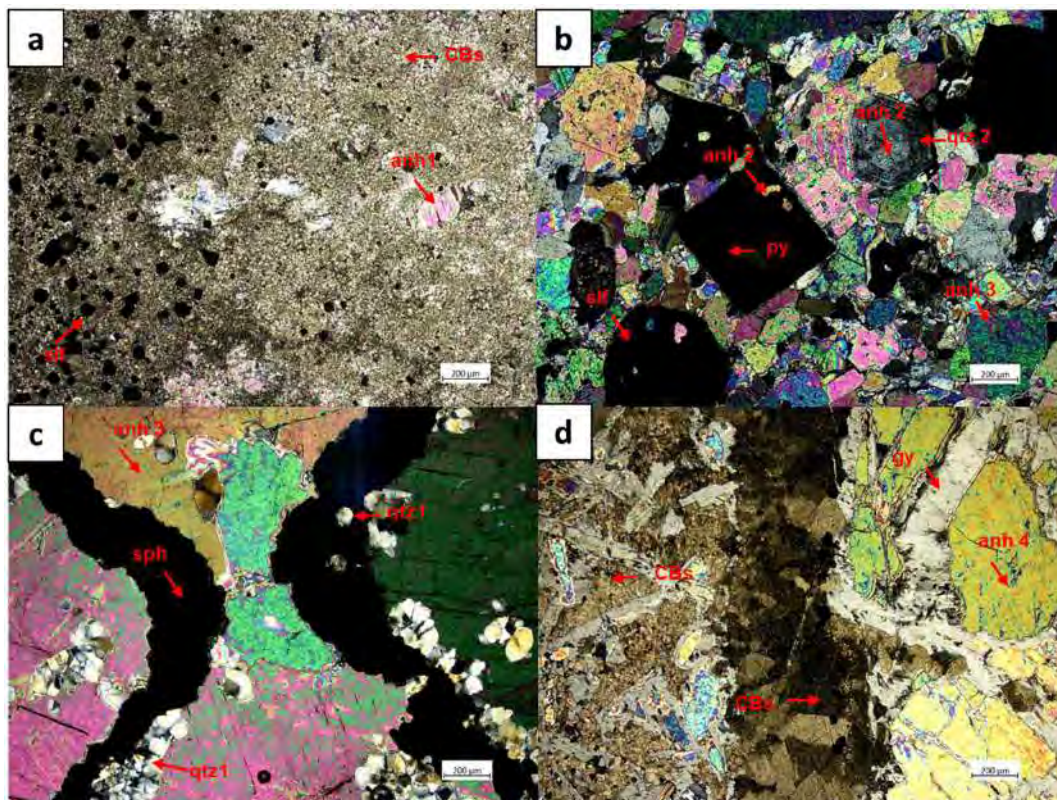


**Figura 4-5:** Fotos del frente de explotación de la Veta Morro Solar en el Nv. 4025 y las muestras recolectadas: **(a)** se señala la ubicación del cuerpo de reemplazamiento y de la anhidrita sedimentaria, y de las muestras recolectadas; **(b)** veta de anhidrita intersecta al cuerpo de reemplazamiento (izquierda) y es intersectada por vetillas de carbonatos de tonalidad rosa pálido tardías; **(c)** núcleo de pirita (py)-cuarzo (qtz) rodeado por un ribete de esfalerita (sph) al contacto con un cuerpo de anhidrita (anh)-pirita (py), en el interior del cuerpo de reemplazamiento; **(d)** Brecha de caliza en matriz de anhidrita, bajo el nivel de anhidrita de la secuencia sedimentaria inicial.

En el caso de los sulfuros principales, se han descrito cuatro generaciones de pirita, cuatro generaciones de esfalerita, dos generaciones de calcopirita, dos generaciones de cobres grises, y dos de galena. Las cuatro generaciones de pirita se definen como: (i) py 1: cristales euhedrales a subhedrales diseminados del cuerpo anhidrita-pirita, presentando remanentes de qtz 1 y anh 2 en su interior (Figura 4-8a); (ii) py 2: cristales subhedrales a anhedrales con escasas inclusiones, intensamente microfracturados y parcialmente reemplazada por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena (Figura 4-8b); (iii) py 3: cristales anhedrales con abundantes inclusiones de: esfalerita, calcopirita, bornita, digenita, covelita, cobres grises (serie tennantita-tetraedrita), estannoidita, vinciennita, galena y telurobismutita; e intensamente reemplazado por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena (Figura 4-8c); y (iv) py4:



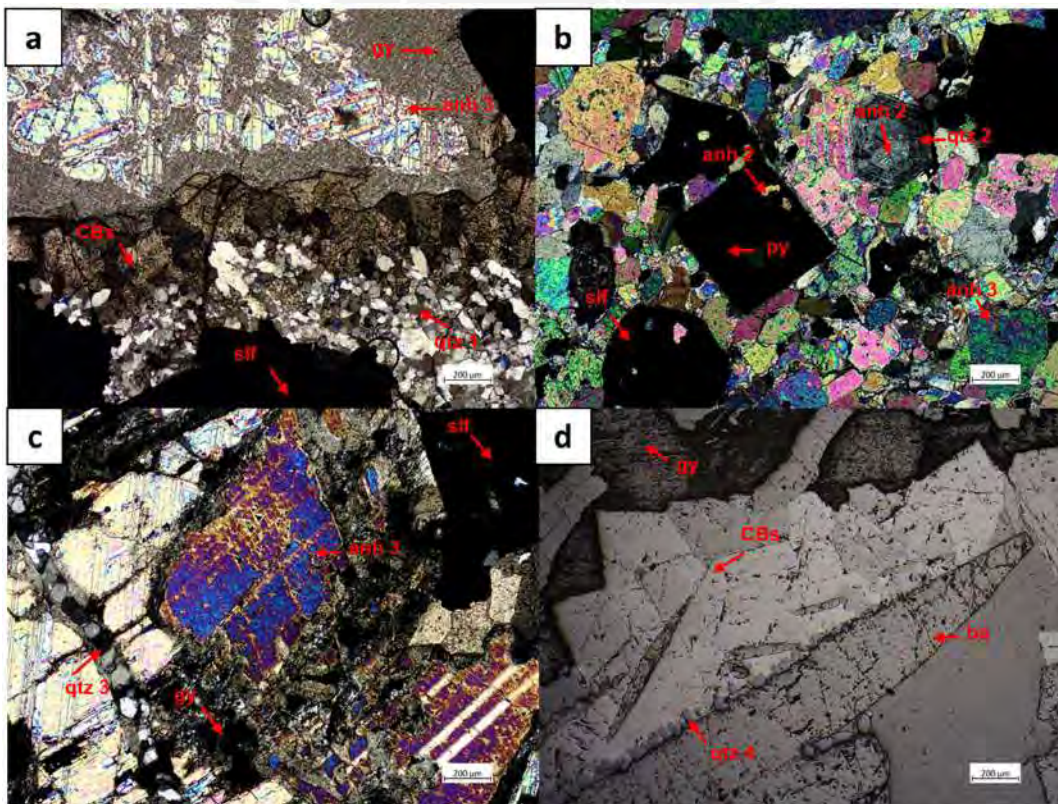
pirita de la variedad bravoíta reemplazando a los cristales de pirita 3 desde sus bordes (Figura 4-8d).



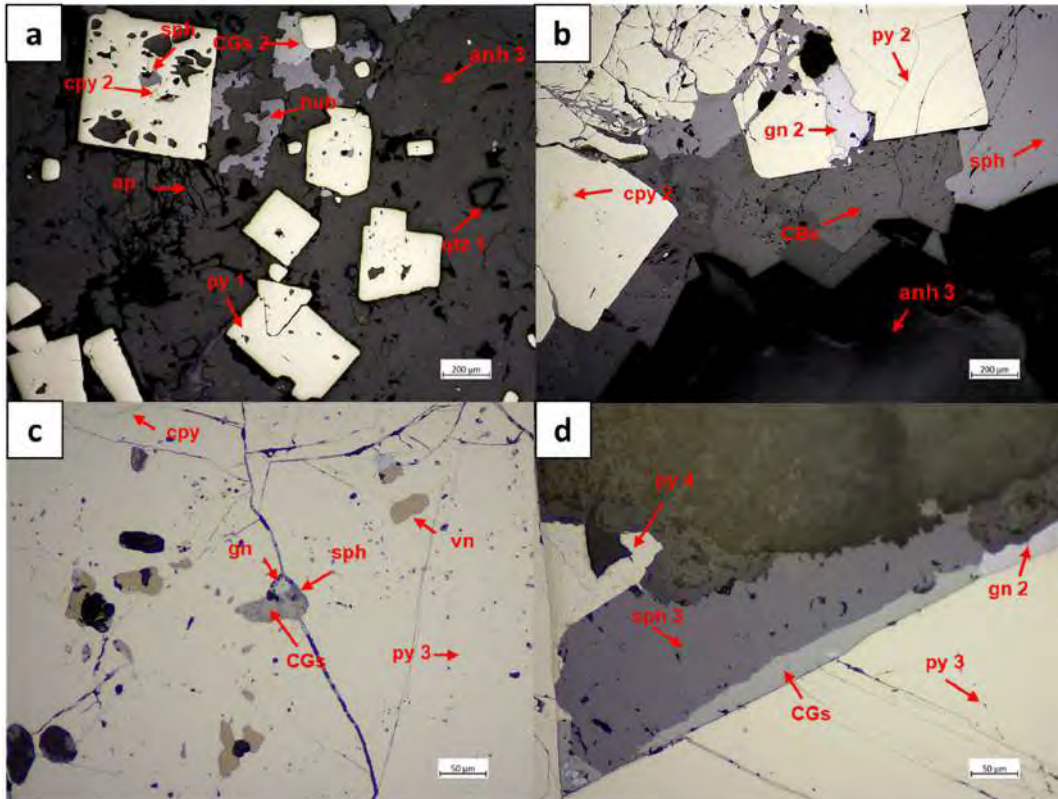
**Figura 4-6:** Generaciones reconocidas de anhidrita, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz transmitida (LLP): **(a)** LLP 5X: cristales de anhidrita sedimentaria (anh 1) dentro de clasto de clz (descrita en la lámina 022-LPB); **(b)** LLP 5X: cristales de anh 2 como relictos al interior de py y qtz 2 euhedral, todo ello en una matriz de anh 3 removilizada (descrita en la lámina 003-LP); **(c)** LLP 5X: cristales de sph crecieron entre los intersticios de los cristales gruesos de anh 3 y los cristales de qtz 1 anhedrales (descrita en la lámina 005-LP); **(d)** LLP 5X: vetilla de anhidrita anh 4 libre de mineralización y cortada por vetas de CBs tardío (descrita en la lámina 004-LPB). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, cuarzo, CBs = carbonatos; = qtz, sulfuros = slf, pirita = py, yeso = gy, barita = ba, clz = caliza.

Para la esfalerita se han descrito cuatro generaciones: (i) sph 1: cristales anhedrales con inclusiones de estannoidita y vinciennita (Figura 4-9a); (ii) sph 2: cristales anhedrales con “*chalcopirite disease*” (Figura 4-9b); (iii) sph 3: cristales anhedrales a subhedrales libres de inclusiones o con escasas inclusiones de calcopirita (Figura 4-9b); (iv) sph 4: esfalerita con textura coliforme “*schalenblenda*” que ha crecido sobre clastos de caliza (Figura 4-9c). En el caso de la calcopirita, se definen dos tipos: (i) cpy 1: diseminaciones que conforman la *chalcopirite disease* en la esfalerita 2 (Figura 4-9b); y

(ii) cpy 2: inclusiones o agregados masivos (Figura 4-9b, f). Las dos generaciones de cobres grises corresponden a: (i) CGs 1: cristales anhedrales con inclusiones de estannoidita y vinciennita (Figura 4-9e); y, (ii) CGs 2: cristales anhedrales logrando reconocerse, en algunos casos, la existencia de por lo menos dos tipos de cobres grises que conforman la serie tennantita-tetraedrita (Figura 4-9f). Finalmente, para la galena se han definido tres generaciones: (i) gn 1: cristales anhedrales con inclusiones de estannoidita (Figura 4-9e); (ii) gn 2: cristales anhedrales que reemplazan a la pirita 2 a través de bordes y microfracturas (Figura 4-8b, d, Figura 4-9a, f); (iii) gn 3: cristales euhedrales a subhedrales que reemplazaron parcialmente a la esfalerita colorme (“schalenblenda”; sph 4) (Figura 4-9d).



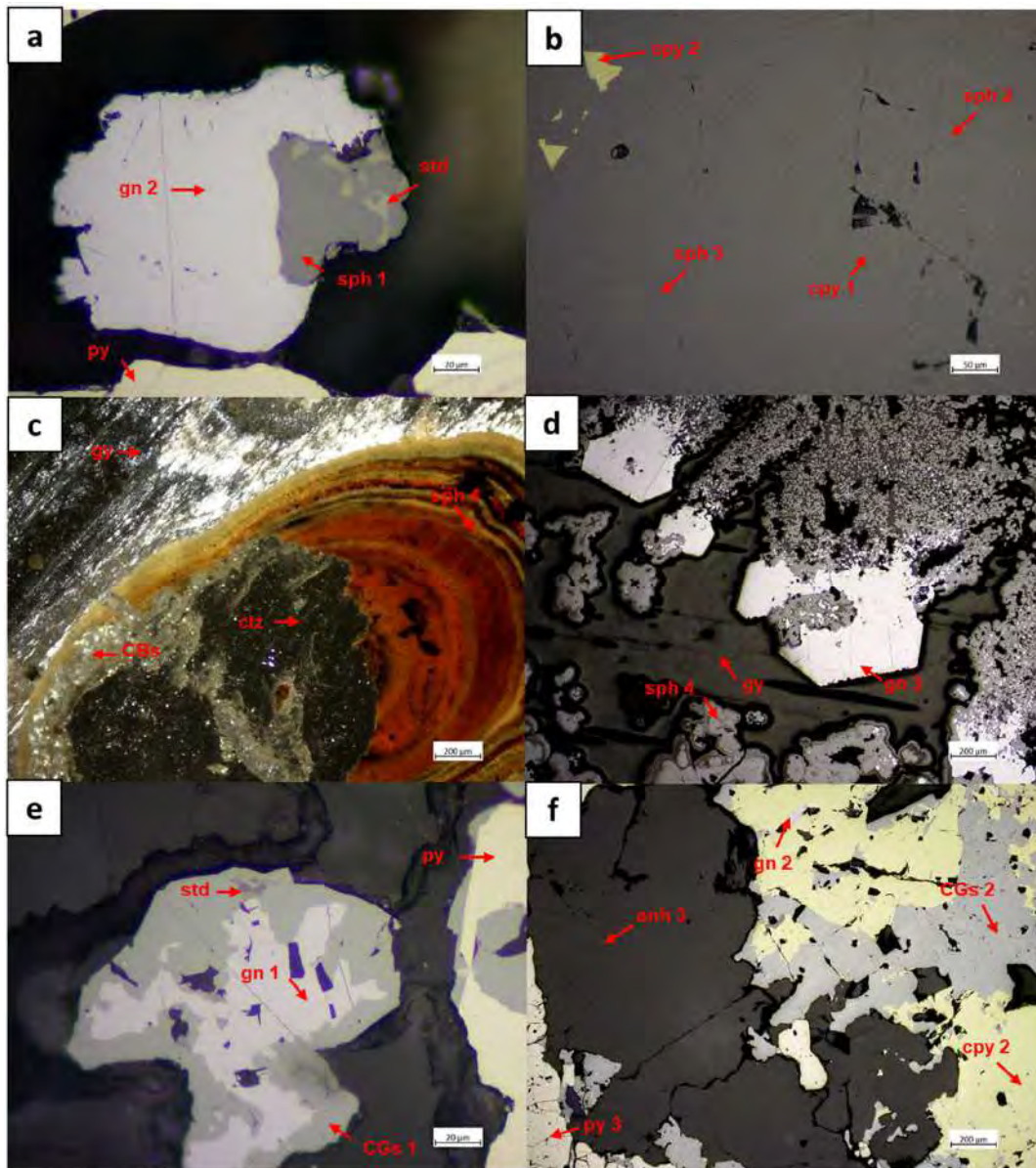
**Figura 4-7:** Generaciones reconocidas de cuarzo, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz transmitida (LLP) y reflejada (XLP): **(a)** LLP 5x: cristales de slf y CBs crecieron entre intersticios de cristales anhedrales de qtz 1, y al contacto con un nódulo de anh 3 posteriormente reemplazada a gy (descrita en la lámina 001-LP); **(b)** LLP 5x: cristales euhedrales de qtz 2 con relictos de anh 2 en una matriz de anh 3 removilizada (descrita en la lámina 003-LP); **(c)** LLP 5x: vetilla de qtz 3 corta nódulo de anh 3 (descrita en la lámina 006-LP); **(d)** XLP 5x: cristales anhedrales pequeños de qtz 4 precipitados gravitacionalmente sobre cristales de ba (descrita en la sección 006-SP). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, cuarzo, CBs= carbonatos; = qtz, sulfuros = slf, pirita = py, yeso = gy, barita = ba.



**Figura 4-8:** Generaciones reconocidas de pirita, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz reflejada (XLP): (a) XLP 5x: cristales euhedrales a subhedrales de py 1 diseminados en una matriz de anh 3 - qtz 1 (descrita en la sección 001-SPC); (b) XLP 5x: cristales de py 2 reemplazados por gn 2 y CBs euhedrales, al contacto con un nódulo de anh 3 (descrita en la sección 001-SPB); (c) XLP 20x: cristal anhedral de py 3 con abundantes inclusiones de: cpy, cobres grises, vn y gn (descrita en la sección 010-SPA); (d) XLP 5x: py 4 de la variedad brv corona cristales de sph y py desde sus bordes (descrita en la sección 018-SP). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, cuarzo = qtz, pirita = py, esfalerita = sph, calcopirita = cpy, cobres grises = CGs, galena = gn, vinciennita = vn, bravoíta = brv.

Por otro lado, en las láminas delgadas 008-LP, 011-LP, 022-LPA, B, se han descrito brechas con clastos de caliza cementadas por una matriz de anhidrita parcial o totalmente reemplazada a yeso. Los clastos de caliza se presentan recristalizados producto de la brechificación, y rodeados por un ribete de carbonatos de mayor granulometría. Dentro de estos ribetes, en algunos casos, se ha registrado una alineación de sulfuros de mayor tamaño a los que se encuentran diseminados en el interior de los clastos. Posteriormente, la brecha de caliza ha sido cortada por vetillas de anhidrita removilizada, seguidas de vetillas de carbonatos, y finalmente, por vetillas de yeso. Estas últimas

tienden a reabrir las vetillas previas, y reemplazar parcial o totalmente a la anhidrita de las vetillas o matriz.



**Figura 4-9:** Generaciones reconocidas para esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena, mostradas en imágenes de microscopía óptica en luz transmitida (LLP) y reflejada (XLP): (a) XLP 5x: cristal anhedral de sph 1 con inclusiones de std reemplazadas por gn 2 (descrita en la sección 010-SPA); (b) XLP 20x: transición continua de sph 2 con “chalcopyrite disease” a sph 3 limpia (descrita en la sección 001-SPA); (c) LLP 5x: cristal de sph 4 del tipo “schalenblende” creció sobre clasto de clz parcialmente recrystalizada y en una matriz de gy (descrita en la lámina 011-LP); (d) XLP 5x: cristales euhedrales de gn 3 reemplazaron a sph 4 (descrita en la sección 011-SP); (e) XLP 50x: inclusiones de std en cristales de gn y CGs (descrita en la sección 005-SPA); (f) XLP 5x: vetilla de cpy 2 reemplazada por CGs 2, en una matriz de anh 3 (descrita en la sección 005-SPA). Abreviaciones empleadas: anhidrita = anh, pirita = py, esfalerita = sph, calcopirita = cpy, cobres grises = CGs, galena = gn, std = estannoidita, clz = caliza, yeso = gy.

#### ***4.1. Secuencia paragenética***

A continuación, se propone la paragénesis de la Veta Morro Solar y el Manto Ivette en el Nv. 4025. Las Figura 4-10 y 4-11 resumen las secuencias paragenéticas de ambas estructuras mineralizadas, respectivamente.

##### ***Zona de sulfidación intermedia de Zn-Cu:***

###### ***(i) Etapa de cuarzo-pirita***

La etapa de cuarzo-pirita está caracterizada por la precipitación de cristales anhedrales de cuarzo (qtz 1) seguidos por cristales euhedrales a subhedrales de pirita (py 1). La pirita presenta relictos de anhidrita (anh 1) y cuarzo (qtz 1) en su interior.

La anhidrita de esta etapa constituye la primera fase de removilización y se hace presente como relictos en el interior de los cristales de cuarzo (qtz 2) y sulfuros.

###### ***(ii) Etapa de metales de base***

###### ***- Subetapa de cuarzo***

La subetapa de cuarzo se caracteriza por la precipitación de cristales de cuarzo (qtz 2) euhedrales zonados con relictos de cristales de anhidrita (anh 1); y cristales subhedrales a anhedrales de pirita (py 2) con escasas inclusiones e intensamente microfracturados. En esta etapa además se ha reconocido rutilo como mineral accesorio.

###### ***- Subetapa de Fe-Cu-As-Sn***

La subetapa de Fe-Cu-As-Sn se caracteriza por la presencia de cristales anhedrales a subhedrales de pirita (py 3) con abundantes inclusiones, que incluyen: esfalerita, calcopirita, bornita, digenita, covelita, cobres grises (tennantita-tetraedrita), estannoidita, vinciennita, galena y telurobismutita. La calcopirita es la inclusión más frecuente en los

cristales de pirita, seguida y en parte reemplazada por bornita, digenita y covelita. Posterior a la pirita, cristalizaron esfalerita (sph 1) y cobres grises (CGs 1) caracterizados por sus inclusiones de estannoidita y vinciennita. Otros minerales que también cristalizaron en esta etapa, pero en escasa cantidad, son la calcopirita y la galena (gn 1), esta última con inclusiones de estannoidita, y como mineral traza, la aikinita.

- *Subetapa de Cu-Zn*

La subetapa de Cu-Zn se caracteriza por la precipitación de esfalerita (sph 2, 3), calcopirita (cpy 2), cobres grises y galena (gn 2), que a diferencia de los que precipitaron en la etapa de Fe-Cu-As-Sn, están libres de inclusiones de minerales que contienen estaño. Dos tipos de esfalerita se ha reconocido en esta etapa: cristales anhedrales con *chalcopyrite disease* (sph 2), y libres o con escasas inclusiones de calcopirita (sph 3), registrándose una transición continua entre ambos tipos. Estos tres minerales han reemplazado parcialmente a los cristales de pirita de las anteriores etapas a través de microfracturas, intersticios y bordes. Además, se han encontrado evidencias de que la esfalerita ha sido reemplazada por calcopirita, y ambas por cobres grises. Dentro de esta etapa también se considera la cristalización de una cuarta generación de pirita de la variedad bravoíta (py 4) que reemplaza a estos ensambles a partir de sus bordes.

- *Subetapa de Zn-Pb*

La subetapa de Zn-Pb se caracteriza por la precipitación de esfalerita coliforme del tipo *schalenblenda* (sph 4) y la precipitación de galena euهدral (gn 3) que en parte la ha reemplazado. Este tipo de esfalerita constituye la última generación reconocida y se ha observado excepcionalmente como amplias playas que crecen sobre clastos de calizas

recristalizadas, en una brecha de anhidrita totalmente reemplazada a yeso. En esta etapa, por falta de relaciones de corte, solo se presume la precipitación de minerales accesorios, como hessita ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ), petzita ( $\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$ ) y electrum.

La anhidrita (anh 3) de la etapa de metales base corresponde a las fases de removilización, no diferenciadas, que engloban diferentes subfases asociadas a la matriz de anhidrita en cuerpos de anhidrita-pirita, la matriz de la brecha de calizas, y los nódulos registrados en el interior del cuerpo de pirita-cuarzo. La presencia de mineralización asociada a: (i) la cristalización de esfalerita dentro de los intersticios de los cristales de anhidrita (anh 3), y (ii) un ribete de esfalerita formado al contacto con un cuerpo de anhidrita (anh 3)-pirita indican que se trata de una mineralización posterior a la removilización de anhidrita, de al menos una de las subfases correspondientes a la fase de anh 3, y en parte favorecida por la misma.

| Secuencia paragenética: VETA MORRO SOLAR |   |                       |                         |                   |                   |                        |
|--|---|-----------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| Mineral                                  | Etapa<br>qtz-py   | Etapa de metales base |                         |                   |                   | Etapa de<br>carbonatos |
|  |   | Subetapa<br>qtz       | Subetapa<br>Fe-Cu-As-Sn | Subetapa<br>Cu-Zn | Subetapa<br>Zn-Pb |                        |
| anhidrita                                | $\text{CaSO}_4$   |                       |                         |                   |                   |                        |
| cuarzo                                   | $\text{SiO}_2$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| rutilo                                   | $\text{TiO}_2$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| hubnerita                                | $\text{MnWO}_4$   |                       |                         |                   |                   |                        |
| pirita                                   | $\text{FeS}_2$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| esfalerita (inclusión)                   | ZnS   |                       |                         |                   |                   |                        |
| calcopirita (inclusión)                  | $\text{CuFeS}_2$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| tennantita-tetraedrita (inclusión)       | $(\text{Cu,Fe})_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$              |                       |                         |                   |                   |                        |
| estannoidita (inclusión)                 | $\text{Cu}_9\text{Fe}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$                |                       |                         |                   |                   |                        |
| vinciennita (inclusión)                  | $\text{Cu}_{12}\text{Fe}_2\text{Sn}(\text{As,Sb})\text{S}_{18}$ |                       |                         |                   |                   |                        |
| galena (inclusión)                       | PbS   |                       |                         |                   |                   |                        |
| bornita (inclusión)                      | $\text{Cu}_5\text{FeS}_3$                                       |                       |                         |                   |                   |                        |
| digenita (inclusión)                     | $\text{Cu}_3\text{S}_2$   |                       |                         |                   |                   |                        |
| covelita (inclusión)                     | CuS   |                       |                         |                   |                   |                        |
| telurobismitita (inclusión)              | $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| esfalerita                               | ZnS   |                       |                         |                   |                   |                        |
| calcopirita (inclusión)                  | $\text{CuFeS}_2$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| pirargirita (inclusión)                  | $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$                                       |                       |                         |                   |                   |                        |
| estannoidita (inclusión)                 | $\text{Cu}_9\text{Fe}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$                |                       |                         |                   |                   |                        |
| vinciennita (inclusión)                  | $\text{Cu}_{12}\text{Fe}_2\text{Sn}(\text{As,Sb})\text{S}_{18}$ |                       |                         |                   |                   |                        |
| calcopirita                              | $\text{CuFeS}_2$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| tennantita-tetraedrita                   | $(\text{Cu,Fe})_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$              |                       |                         |                   |                   |                        |
| estannoidita (inclusión)                 | $\text{Cu}_9\text{Fe}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$                |                       |                         |                   |                   |                        |
| vinciennita (inclusión)                  | $\text{Cu}_{12}\text{Fe}_2\text{Sn}(\text{As,Sb})\text{S}_{18}$ |                       |                         |                   |                   |                        |
| estannoidita                             | $\text{Cu}_9\text{Fe}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$                |                       |                         |                   |                   |                        |
| vinciennita                              | $\text{Cu}_{12}\text{Fe}_2\text{Sn}(\text{As,Sb})\text{S}_{18}$ |                       |                         |                   |                   |                        |
| estannoidita                             | $\text{Cu}_9\text{Fe}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$                |                       |                         |                   |                   |                        |
| vinciennita                              | $\text{Cu}_{12}\text{Fe}_2\text{Sn}(\text{As,Sb})\text{S}_{18}$ |                       |                         |                   |                   |                        |
| galena                                   | PbS   |                       |                         |                   |                   |                        |
| estannoidita (inclusión)                 | $\text{Cu}_9\text{Fe}_2\text{Sn}_2\text{S}_{12}$                |                       |                         |                   |                   |                        |
| Electrum                                 |   |                       |                         |                   |                   |                        |
| hessita                                  | $\text{Ag}_2\text{Te}$  |                       |                         |                   |                   |                        |
| petzita                                  | $\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$                                      |                       |                         |                   |                   |                        |
| plagioclasa                              | $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$                      |                       |                         |                   |                   |                        |
| barita                                   | $\text{BaSO}_4$   |                       |                         |                   |                   |                        |
| Carbonatos                               |   |                       |                         |                   |                   |                        |
| yeso                                     | $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$                        |                       |                         |                   |                   |                        |

Figura 4-10: Secuencia paragenética de la Veta Morro Solar, dentro del esquema de Catchpole (2011).

(iii) *Etapas de carbonatos*

La etapa de carbonatos se caracteriza por la precipitación de carbonatos, cuarzo y barita. Los carbonatos se caracterizan por su tonalidad rosa pálido, presentando en algunos casos hábitos romboidales. Estos minerales son unos de los últimos en cristalizar, y se los encuentra dentro de cuerpos de reemplazamiento y emplazados a través de vetas y vetillas que cortan y reemplazan los ensamblajes previos. Se han reconocido, además, cristales de carbonatos y cuarzo (qtz 4) que precipitaron en alternancia de bandas delgadas y entre los cuales se han encontrado escasos cristales de sulfuros. Sobre estas bandas, crecieron cristales de barita de hábito tabular coronados por cristales anhedralmente finos de cuarzo y esfalerita. En esta etapa también se reconocen vetillas de cuarzo (qtz 3) que intersecan nódulos de anhidrita (anh 3).

| Secuencia paragenética: MANTO IVETTE |   |                       |                      |                |                     |                |
|--------------------------------------|---|-----------------------|----------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Mineral                              | Etapa qtz-py  | Etapa de metales base |                      |                | Etapa de carbonatos |                |
|                                      |   | Subetapa qtz          | Subetapa Fe-Cu-As-Sn | Subetapa Cu-Zn |                     | Subetapa Zn-Pb |
| anhidrita                            | CaSO <sub>4</sub>   |                       |                      |                |                     |                |
| cuarzo                               | SiO <sub>2</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| rutílo                               | TiO <sub>2</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| hubnerita                            | MnWO <sub>4</sub>   |                       |                      |                |                     |                |
| pirita                               | FeS <sub>2</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| esfalerita                           | (Inclusión) ZnS   |                       |                      |                |                     |                |
| calcopirita                          | (Inclusión) CuFeS <sub>2</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| tennantita-tetraedrita               | (Inclusión) (Cu,Fe) <sub>12</sub> (Sb,As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>              |                       |                      |                |                     |                |
| estannoidita                         | (Inclusión) Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>13</sub>         |                       |                      |                |                     |                |
| vinciennita                          | (Inclusión) Cu <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> Sn(As,Sb) <sub>2</sub> S <sub>16</sub> |                       |                      |                |                     |                |
| galena                               | (Inclusión) PbS   |                       |                      |                |                     |                |
| bornita                              | (Inclusión) Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| digenita                             | (Inclusión) Cu <sub>2</sub> S <sub>3</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| covelita                             | (Inclusión) CuS   |                       |                      |                |                     |                |
| tellurobismutita                     | (Inclusión) Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>   |                       |                      |                |                     |                |
| esfalerita                           | ZnS   |                       |                      |                |                     |                |
| calcopirita                          | (Inclusión) CuFeS <sub>2</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| estannoidita                         | (Inclusión) Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>13</sub>         |                       |                      |                |                     |                |
| vinciennita                          | (Inclusión) Cu <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> Sn(As,Sb) <sub>2</sub> S <sub>16</sub> |                       |                      |                |                     |                |
| calcopirita                          | CuFeS <sub>2</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| tennantita-tetraedrita               | (Cu,Fe) <sub>12</sub> (Sb,As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>                          |                       |                      |                |                     |                |
| estannoidita                         | (Inclusión) Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>13</sub>         |                       |                      |                |                     |                |
| vinciennita                          | (Inclusión) Cu <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> Sn(As,Sb) <sub>2</sub> S <sub>16</sub> |                       |                      |                |                     |                |
| estannoidita                         | Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>13</sub>                     |                       |                      |                |                     |                |
| vinciennita                          | Cu <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> Sn(As,Sb) <sub>2</sub> S <sub>16</sub>             |                       |                      |                |                     |                |
| galena                               | PbS   |                       |                      |                |                     |                |
| aikinita                             | PbCuBiS <sub>3</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| plagioclasa                          | (Na,Ca)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>  |                       |                      |                |                     |                |
| barita                               | BaSO <sub>4</sub>   |                       |                      |                |                     |                |
| Carbonatos                           |   |                       |                      |                |                     |                |
| yeso                                 | CaSO <sub>4</sub> ·½H <sub>2</sub> O  |                       |                      |                |                     |                |

Figura 4-11: Secuencia paragenética del Manto Ivette, dentro del esquema empleado por Catchpole (2011).



La anhidrita en esta etapa corresponde a una fase de removilización tardía presentándose como vetas y vetillas que preceden a las vetas y vetillas de carbonatos y en parte son reemplazadas por estas. Por último, se reconoce una etapa final de yeso en remplazo parcial o total de las diferentes generaciones de anhidritas reconocidas.

#### **4.2. Difracción de rayos X**

Los resultados para la muestra correspondiente a la anhidrita sedimentaria (2019-MOR-002) indican una composición al 100% de anhidrita (Figura A.3 - 1). En el caso de muestra 2019-MOR-009, corresponde a anhidrita asociada a la mineralización polimetálica del Manto Ivette contiene un 74% de anhidrita y 26% de yeso (Figura A.3 - 2).

#### **4.1. Geoquímica de isótopos**

Los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  para la anhidrita masiva son de 15.6 ‰ y de 15.8-22.3 ‰ para las anhidritas asociadas con la mineralización. En el caso de los sulfuros, los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  son de 3.2 a 6.1 ‰ para la pirita y entre 2.0 y 6.0 ‰ para la esfalerita.

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  son de 16.7 ‰ para la anhidrita masiva y de 1.5 a 18.0 ‰ para la anhidrita asociada a la mineralización.

Los ratios de  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  para la anhidrita registran valores entre 0.7081 y 0.7084 para cinco muestras y de 0.7161 en una muestra.

Los análisis de los carbonatos (calcita y dolomita) de la caliza brechada de la Formación Chambará registran valores de 0.28 a 1.88 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y de 20.99 a 23.43 ‰ para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ . Los análisis realizados en rodocrositas asociadas a la mineralización de vetas y cuerpos de remplazamiento (Veta Morro Solar y Cuerpo Rosita) registran valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de -9.94 a -6.58 ‰ y de 26.52 a 29.06 ‰ para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ .

Para mayor detalle, se presentan los resultados obtenidos en los análisis de isótopos de C y O en carbonatos en la Tabla A.1 - 4: del Anexo 1, los análisis de S, O, y Sr en anhidritas en la Tabla A.1 - 5: , y los resultados para los análisis de isótopos de S en los sulfuros se presentan en la Tabla A.1 - 6: del mismo anexo.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. *El MAC y sus asociaciones con los cuerpos mineralizados de Morococha*

La distribución singular en el contenido de anhidrita dentro de la Veta Morro Solar sugiere que la falla Morro Solar (antes de ser una estructura mineralizada en el Mioceno) habría actuado como una estructura de escape para la anhidrita, proveniente del nivel sedimentario y desplazada como resultado del régimen compresivo y la carga que representaba el bloque cabalgante del sobreescorrimiento Gertrudis. De tal forma que, en un mismo punto, dos cuerpos de anhidrita ascendieron a través de la falla Morro Solar, y posteriormente se bifurcaron hacia estructuras tensionales, más favorables al techo de la falla Morro Solar. La circulación de los fluidos mineralizantes durante el Mioceno se ha concentrado a través de las mismas zonas de drenaje, dando lugar al emplazamiento de la mineralización por reemplazamiento de la zona de contacto discordante, probablemente brechada, entre los cuerpos impermeables de anhidrita y la roca de caja carbonatada. En el área de Alapampa (Figura 4-1), el manto Ivette es uno de estos cuerpos que tuvo como *feeder* a los fluidos mineralizantes que ascendieron a través de la Veta Morro Solar.

El papel reológico que habría jugado la anhidrita en la distribución de la mineralización, focalizando los fluidos mineralizantes hacia trampas estratigráficas o estructurales, debido a su carácter impermeable; también se evidencia en la posición estratigráfica del Manto Ángela este (Figura 4-4), ubicado al suroeste del Cuerpo

Esperanza, en una cuña caliza limitada por el contacto Mitu - Pucará y un nivel grueso e impermeable de anhidritas. Este cuerpo mineralizado, similar a su contraparte occidental (el Manto Ángela oeste), tiene como *feeder* a la Veta Leticia.

Dicho papel también se asocia a la ausencia de anhidrita al interior de la brecha Toldo (de la base de la Formación Chambará y ubicada en la misma posición estratigráfica que el MAC) donde habría actuado como zona de despegue.

Este mecanismo ha sido previamente descrito en yacimientos de tipo Kupferschiefer en Alemania y Polonia, en los cuales ciertas rocas (ej. lutitas negra para dicho caso) actuaron de manera similar como barreras hidrodinámicas y geoquímicas para los fluidos mineralizantes propagados a través de fallas, ya sea ralentizando o deteniendo su flujo ascendente. En estos casos se ha señalado que gracias a este estancamiento los fluidos mineralizantes lograron tener un largo tiempo de residencia y reacción con las rocas de la zona entre ellas rocas carbonatadas y evaporitas. Y habría sido dicha baja velocidad del fluido la razón principal para el desarrollo del patrón particular de zonación de metales y minerales de la mineralización. En este tipo de yacimientos se conoce además que los mecanismos de precipitación de los metales implican procesos de reducción de sulfato bacteriana (BSR) y termoquímica (TSR); siendo este último el único que sucede a temperaturas mayores a 80°C (Borg et al., 2012). En ese sentido, este proceso sumado al contexto reológico evidenciado podría explicar la precipitación de mineralización con alta ley, y la zonación de la misma, en el contacto entre el Cuerpo Esperanza y la evaporita circundante de Morocochoa.

### ***5.1. Secuencia paragenética***

La mineralogía encontrada para la Veta Morro Solar y el Manto Ivette se asemeja con la secuencia paragenética de la etapa de metales de base de la zona de Zn-Cu descrita

por Catchpole (2011) para vetas y cuerpos de reemplazamiento cordilleranos. Sin embargo, la etapa de carbonatos encontrada muestra una mayor similitud con la etapa de carbonatos descritos para la zona de Zn-Pb-Ag. Esto sugiere la existencia de una zonación de la etapa de carbonatos no antes descrita.

Las fases de removilización de la anhidrita descritas en este estudio corresponden a las fases de removilización previamente observadas por Haapala (1953), Nagell (1957) y Vallance (2015) en otras zonas de la mina. De esta manera se evidencia la gran solubilidad de la anhidrita que ha sido removilizada durante varias etapas mientras se desarrollaba el sistema hidrotermal.

En cuanto a la presencia de mineralización dentro de ribetes de carbonatos recristalizados en el contacto de los clastos de caliza con la matriz de anhidrita, podría estar evidenciando la existencia de un mecanismo de mineralización adicional. Sin embargo, esta mineralización solo ha sido observada localmente. En ese sentido, la presencia o ausencia de mineralización estaría asociada a la disponibilidad de materia orgánica y su distribución dentro de las calizas del Grupo Pucará. Los estudios de microscopía óptica han indicado que se trata de una caliza fosilífera por la presencia de espículas de esponja calcáreas; además, se conoce que también lo es la Formación Chambará de la base del Grupo Pucará, en la cual se emplazó la mayor parte de la mineralización del depósito. En ese contexto, las condiciones que se requirieron para producir una precipitación de mineralización a través de un mecanismo de reducción de sulfatos habría estado completa, pues se contaba con el azufre aportado por la anhidrita, los metales transportados a través de fluidos salinos y calientes del magma, y la materia orgánica de las calizas actuando como agente reductor; las reacciones entre estos componentes resultarían y se habrían evidenciado en los carbonatos recristalizados y la precipitación de sulfuros observados sobre estos ribetes de recristalización.

### 5.1. Geoquímica de isótopos

Los resultados de los análisis de isótopos de S, O y Sr en anhidrita y S en sulfuros de este estudio se presentan en la Figura 5-1 en comparación con los resultados obtenidos por Kouzmanov et al. (2011) para un estudio similar en muestras de anhidritas y sulfuros.

Los valores del  $\delta^{34}\text{S}$  de la anhidrita (15.8 a 22.3 ‰) y las piritas coexistentes (3.2 a 6.1 ‰) no covarían (Figura 5-1). La pendiente positiva de la línea que mejor se ajusta sugiere fuentes de azufre distintos para cada mineral.

Nuestro dato de la anhidrita masiva ( $\delta^{34}\text{S} = 15.6$  ‰) y los valores entre 15 – 17 ‰ para  $\delta^{34}\text{S}$  reportados por Kouzmanov et al. (2011), son similares a los valores reportados por Claypool et al. (1980) para las evaporitas marinas del Triásico-Jurásico. Valores más elevados, alrededor de  $\sim 24$  ‰, podrían reflejar una contribución de  $\text{SO}_4^{2-}$  derivado de un mecanismo de desproporción de S magmático o producto de una reacción similar (Ohmoto, 1972; Clark et al., 1994; Figura 5-1b).

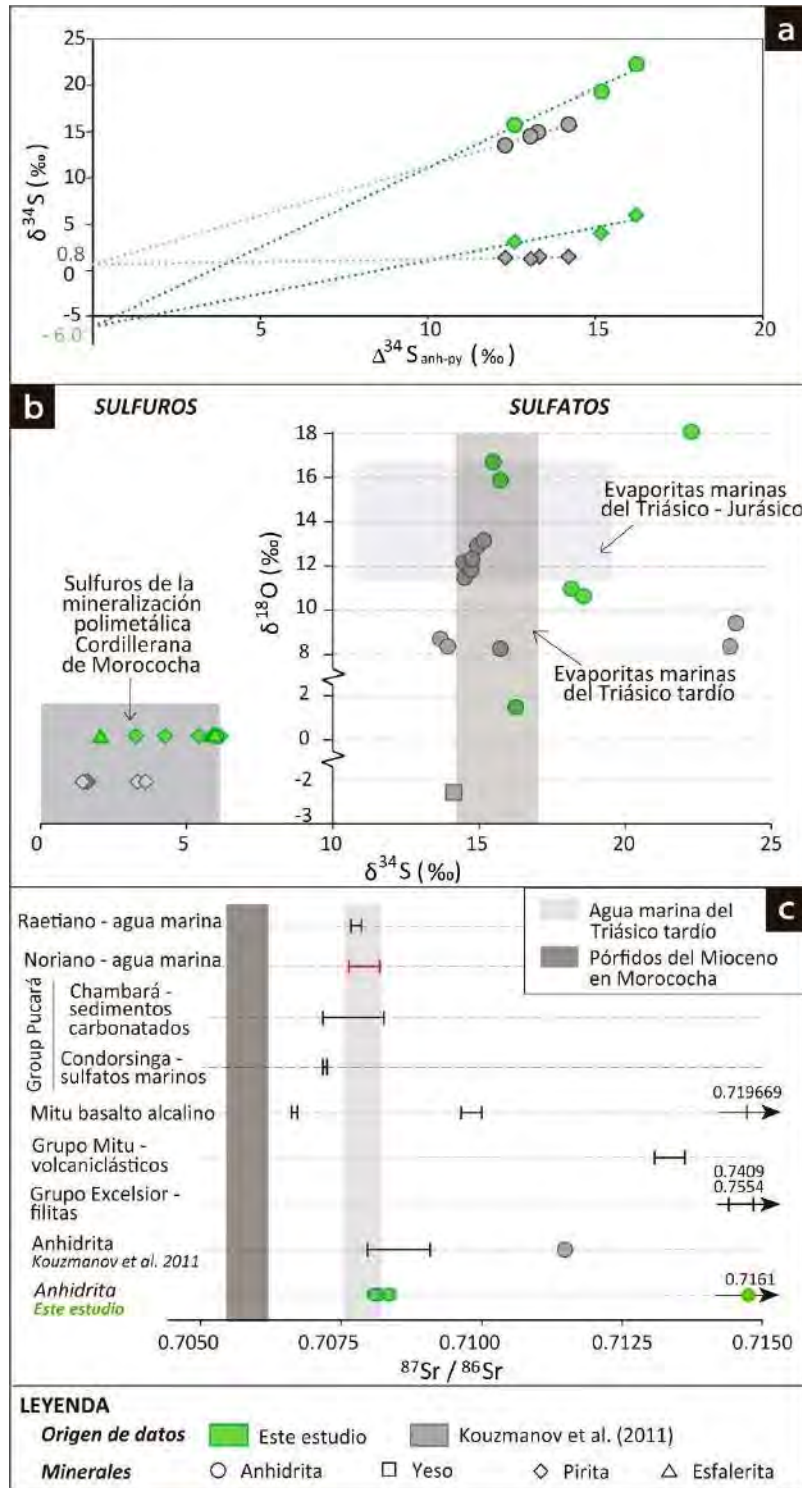
Los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  para los sulfuros encontrados en este estudio (3.2 a 6.1 ‰ para la pirita y entre 2.0 y 6.0 ‰ para la esfalerita), concuerdan con los valores previamente reportados para la mineralización polimetálica de Morococha, que sugieren azufre de origen magmático. Sin embargo, los valores más altos podrían reflejar una menor incorporación de azufre del sulfato evaporítico reducido a alta temperatura en partes profundas del sistema hidrotermal (Figura 5-1b).

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de la anhidrita masiva (16.7 ‰) y la anhidrita asociada a la mineralización (1.5 a 18.0 ‰) concuerdan con los resultados de Kouzmanov et al. (2011) que sugieren que las evaporitas marinas del Triásico-Jurásico han interactuado con fluidos con valores más bajos de  $\delta^{18}\text{O}$ , por ejemplo, de origen magmático o equilibrados con rocas magmáticas.

Los ratios de  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  en 23 muestras de anhidrita (17 obtenidos de Kouzmanov et al. 2011 y 6 de este estudio) registran valores entre 0.7081 y 0.7161 (Figura 5-1c); donde 11 valores (8 de Kouzmanov et al. 2011 y 3 de este estudio) son cercanos a 0.7081. Estos valores, en su mayoría de la anhidrita masiva (0.7081), coinciden con los valores reportados para el agua de mar del Noriano; y son muy cercanos a los valores reportados por Ramírez et al. (2022) para la anhidrita masiva que se encuentra cerca del depósito de Ayawilca, en una posición geológica similar a la de Morococha. Las muestras con ratios más radiogénicos 0.7116 (Kouzmanov et al. 201) y 0.7161 (este estudio), ambas asociadas a la mineralización polimetálica del distrito en vetas y cuerpos de reemplazamiento (Manto Ivette) respectivamente, sugieren una interacción con fluidos hidrotermales equilibrados con rocas del basamento de los Grupos Mitu y Excelsior.

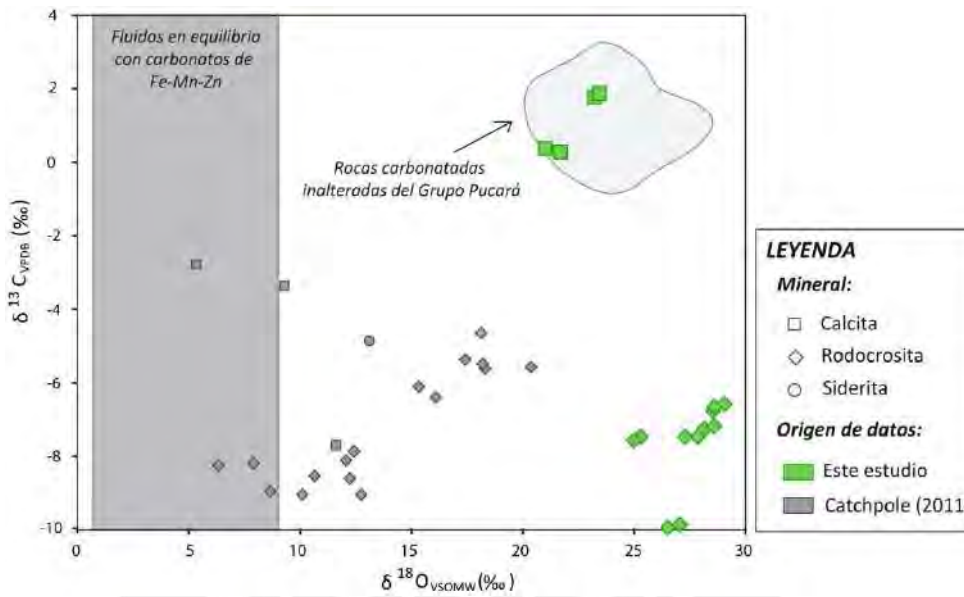
Los resultados de isótopos de C y O en carbonatos (rodocrosita y calcita) para este estudio se presentan en la Figura 5-2, en comparación con los resultados obtenidos por Catchpole (2011) para un estudio en muestras de carbonatos asociados a la mineralización polimetálica Cordillerana de Morococha, y los resultados obtenidos por Moritz et al. (1996) para la roca carbonatada inalterada del Grupo Pucará.

Los análisis de los carbonatos de la caliza brechada de la Formación Chambará (0.28 a 1.88 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y 20.99 a 23.43 ‰ para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ) concuerdan con los valores obtenidos por Moritz et al. (1996) para las calizas inalteradas del Grupo Pucará.



**Figura 5-1:** Datos de isótopos de (a)  $\delta^{34}\text{S}$  de anhidrita, pirita y esfalerita (valores de sulfuros de la mineralización polimetálica Cordillerana en Morococha obtenidos de Catchpole 2011; valores de las evaporitas marinas del Triásico-Jurásico obtenidos de Claypool et al. (1980). (b) Composición del isótopo de Sr de la anhidrita (modificado de Kouzmanov et al.2011; valores de agua de mar del Noriano según Korte et al.(2003); valores del agua de mar del Raetiano según MacArthur et al.(2012); valores de los sedimentos carbonatados en la Fm. de Chamberá según Moritz et al.1996 y de Oliveira et al.2019, 2021; valores del sulfato marino del Condorsinga según Moritz et al.(1996); y valores de los basaltos alcalinos del Mitu según Moritz et al.(1996) y de Oliveira et al.(2021)).

Los análisis realizados en rodocrositas asociadas a la mineralización de vetas y cuerpos de reemplazamiento (-9.94 a -6.58 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y 26.52 a 29.06 ‰ para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ) registran un empobrecimiento del  $\delta^{13}\text{C}$ . Esto indica una contribución de carbono proveniente de materia orgánica en rocas sedimentarias (Bowman, 1998) como la caliza o lutita bituminosa de la Formación Chambará o el Grupo Excelsior, respectivamente; sin embargo, no descarta una contribución de fuente magmática.



**Figura 5-2:** Datos de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  para carbonatos obtenidos de brecha de caliza, y carbonatos asociados a la mineralización de la Veta Morro Solar y el Cuerpo Rosita. Valores de carbonatos asociados a la mineralización polimetálica Cordillerana en Morococha obtenidos de Catchpole 2011; valores de roca carbonatada inalterada del Grupo Pucará extraídos de Moritz et al. 1996; y el campo sombreado representa los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de fluidos calculados en equilibrio con carbonatos de Fe-Mn-Zn según la ecuación de Zheng (1999) para siderita a 200°C (modificado de Baumgartner, 2007)

## 6. CONCLUSIONES

La mineralogía y paragénesis de las muestras de este estudio presenta una similitud con la secuencia paragenética de la etapa de metales base en la zona de sulfidación intermedia de Zn-Cu descrita por Catchpole (2011). Sin embargo, la etapa de carbonatos encontrada muestra una mayor similitud con la etapa de carbonatos descritos para la zona de Zn-Pb-Ag. Por lo cual se considera que, así como existe una zonación de



metales base descrita en Catchpole (2011), también existe una zonación de la etapa de carbonatos no antes descrita, la cual se evidencia en la sobreimposición de una etapa de carbonatos de menor temperatura, descritos para la zona Zn-Pb-Ag, en la zona de estudio clasificada como de Zn-Cu. Por tal motivo, se requieren estudios de mayor alcance que logren definir, en el depósito, los ensambles mineralógicos de las diferentes zonas de carbonatos.

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (0.28-1.88 ‰) y  $\delta^{18}\text{O}$  (20.99-23.43 ‰) de la roca caja carbonatada y la posición estratigráfica del MAC indican que se tratan de cuerpos de anhidritas de la base del Grupo Pucará. Adicionalmente, el agrupamiento de la mayoría de los valores de  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  (alrededor de 0.7081) y  $\delta^{34}\text{S}$  (13.9 a 16.3 ‰) sugieren que los cuerpos de anhidrita en Morococha corresponden a evaporitas marinas del Noriano. Los valores isotópicos más altos de  $\delta^{34}\text{S}$  (hasta 22.3 ‰) y  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  (hasta 0.7161) registrados localmente, principalmente en vetas mineralizadas, se explican por la interacción de anhidrita con fluidos magmático-hidrotermales del Mioceno, que habrían lixiviado parcialmente las rocas del basamento. Estas conclusiones son consistentes con las planteadas por Kouzmanov et al. (2011). Las firmas de isótopos de azufre de los sulfuros coexistentes con la anhidrita sugieren una contribución dominante de azufre de origen magmático, probablemente mezclado con una proporción menor de azufre de sulfato evaporítico reducido a alta temperatura en las partes profundas del sistema hidrotermal.

El estudio del MAC es importante para comprender el papel de las evaporitas en los depósitos polimetálicos de tipo cordillerano en los Andes y en otros lugares. Nuestros datos sugieren que las evaporitas fueron depositadas en el Noriano en la base del Grupo Pucará y que posteriormente fueron deformadas y parcialmente movilizadas durante la Orogenia Andina. En varios sitios, los cuerpos impermeables de anhidrita concentraron los fluidos mineralizantes del Mioceno hacia trampas estratigráficas o estructurales. El

reconocimiento de las estructuras generadas por el movimiento de evaporitas abre así un nuevo campo prospectivo en el distrito de Morococha, con potencial para ser aplicado en otros yacimientos con contenidos significativos de evaporitas.

El análisis de la posición estratigráfica y la relación espacial entre los cuerpos de anhidritas y la mineralización polimetálica de Morococha sugiere que las anhidritas de la base del Grupo Pucará se habrían deformado y parcialmente desplazado durante la Orogenia Andina; y localmente, habrían jugado un papel importante en la distribución de la mineralización del Mioceno, focalizando los fluidos mineralizantes hacia trampas estratigráficas o estructurales, debido a su carácter impermeable.

## 7. REFERENCIAS

- Ageneau, M. (2018). *Genesis of Ag-rich mineralisation in the Buenaventura and Galera veins, Yacumina zone, SW part of the Morococha district, central Peru*. Universidad de Ginebra. Ginebra-Suiza.
- Benavides-Cáceres, A. (1999). *Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle. Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Economci Geology, Special Publication 7 Pages 61-107 Benites D, Torró L, Vallance J, Laurent O, Valverde PE, Kouzmanov K, Chelle-Michou C, Fontboté L (2021) Distribution of indium, germanium, gallium and other minor and trace elements in polymetallic ores from a porphyry system: the Morococha District, Peru. *Ore Geol Rev* 136:104236.
- Bendezú, A. (2007). *Mineralización tipo pórfido de Cu-Mo asociadas a venas cordilleranas de metales base: Toromocho-Morococha, Distrito de Morococha, Perú*. Universidad nacional de ingeniería. Lima-Perú, p. 132.
- Bendezú, A., Kouzmanov, K., Ovtcharova, M., Spikings, R., Fontboté, L. (2012). *Timing of porphyry emplacement in the Miocene Morococha district, central Peru: U-Pb*

- and Ar-Ar geochronological record*. In: 34th International Geological Congress, Brisbane, Australia.
- Bernasconi, S., Meier, I., Wohlwend, S., Brack, P., Hochuli, P.A., Blasu, H., Wortmann, U.G., Ramseyer, K. (2017) *An evaporite-based high-resolution sulfur isotope record of Late Permian and Triassic seawater sulfate*. *Geochimica Cosmochimica Acta* 204:331-349.
- Bissig, T., Ullrich, T. D., Tosdal, R. M., Friedman, R., Ebert, S. (2008). *The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications*. *South American Earth Sciences*, 26(1):16–35.
- Borg, G., Piestrzynski, A., Bachmann, G. H., Puttmann, W., Walther, S., Fiedler, M. (2012). *An overview of the European Kupferschiefer Deposits*. *Society of Economic Geologist, Special Publication* 16:455–486.
- Bouhlef S, Leach DL, Johnson CA, Marsh E, Salmi-Laouar S, Banks DA (2016) *A salt diapir-related Mississippi Valley-type deposit: The Bou Jaber Pb-Zn-Ba-F deposit, Tunisia: Fluid inclusion isotope study*. *Mineralium Deposita* 51:749–780.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, M., Díaz, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S., Cueva, E. (2009) *Dominios geotectónicos y Metalogénesis del Perú*, *Sociedad Geológica del Perú*, 103:1–90.
- Catchpole, H., Bendezú A., Kouzmanov K., Fontboté L., Escalante E. (2008). *Porphyry-related base metal mineralisation styles in the Miocene Morococha district, central Peru*. SEG-GSSA 2008 Conference, Johannesburg: 54-57
- Catchpole, H. (2011). *Porphyry-related polymetallic mineralisation in the Morococha district, central Peru: mineralisation styles, timing and fluid evolution*. Tesis de Doctorado, Universidad de Ginebra, Suiza. 288 p.

- Catchpole, H., BendeZú, A., Vallance, J., Kouzmanov, K., Astorga, C., Fontboté, L. (2016). *Relaciones espacio-temporales entre pórfidos, skarns estériles y mineralización polimetálica en skarn, cuerpos de reemplazamiento en rocas carbonatadas y vetas en el distrito de Morococha, Perú*. Sociedad Geológica Del Perú, XVIII Cong.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., BendeZú, A., Ovtcharova, M., Spikings, R., Stein, H., Fontboté, L. (2015a). *Timing of porphyry (Cu-Mo) and base metal (Zn-Pb-Ag-Cu) mineralisation in a magmatic-hydrothermal system—Morococha district, Peru*. *Mineralium Deposita*, 50(8):895–922.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Putlitz, B., Seo, J. H., Fontboté, L. (2015b). *Zoned base metal mineralization in a porphyry system: Origin and evolution of mineralizing fluids in the Morococha District, Peru*. *Economic Geology*, 110(1):39–71.
- Clark, J. B., Hastie, J. W., Kihlberg, L. H. E., Metselaar, R., Thackeray, M. M. (1994) *Definitions of terms relating to phase transitions of the solid state (IUPAC Recommendations 1994)*. *Pure and Applied Chemistry*, 66(3):577-594.
- Claypool, G., Holser, W., Kataplan, I., Sakai, H., Zak, I. (1980) *The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation*. *Chemical Geology* 28:199-260.
- de Oliveira, S., Johnson, C., Juliani, C., Monteiro, L., Leach, D., Caran, M. (2021) *Geology and genesis of the Shalipayco evaporite-related Mississippi Valley-type Zn–Pb deposit, Central Peru: 3D geological modeling and C–O–S–Sr isotope constraints*. *Mineralium Deposita* 56:1543-1562
- de Oliveira, S.B., Leach, D.L., Juliani, C., Monteiro, L.V.S., Johnson, C.A. (2019) *The Zn-Pb mineralization of Florida canyon, an evaporite-related Mississippi valley-type deposit in the Bongará district, northern Peru*. *Economic Geology*

114(8):1621–1647

Dol, B., Spangenberg, J. E. (2005). *Sulfur Speciation and Stable Isotope Trends of Water-Soluble Sulfates in Mine Tailings Profiles*. Environmental Science and Technology, 39(15):5650–5656.

Fontboté, L. (2018) Ore deposits of the central Andes. Elements 14:257-261.

Haapala, P. S. (1953). Morococha Anhydrite. Bol Soc Geol Perú 26:21-32.

Korte, C., Kozur, H.W., Bruckschen, P., Veizer, J. (2003) *Strontium isotope evolution of Late Permian and Triassic seawater*. Geochimica Cosmochimica Acta 67:47–62.

Kouzmanov, K., Chiaradia, M., Fontbote, L., Spangenberg, J. (2011). *Origin of massive anhydrite bodies in the Morococha district, central Peru: insights from stable (O, S) and radiogenic (Sr, Nd) isotope geochemistry*. In Barra F., Reich M., Campos F., Tornos F. Eds. Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA) 11th Biennial Meeting: Antofagasta, Chile, SGA, p. 405–407.

Korte, C., Kozur, H.W., Bruckschen, P., Veizer, J., (2003) *Strontium isotope evolution of Late Permian and Triassic seawater*. Geochimica Cosmochimica Acta 67:47–62.

Leach DL, Song YC, Hou ZQ (2017) *The world-class Jinding Zn-Pb deposit: Ore formation in an evaporite dome, Lanping basin, Yunnan China*. Mineralium Deposita 52:281–296.

Machel, H. G., Krouse, H. R., Sassen, R. (1995). *Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction*. Elsevier, 10(4):373–389.

McArthur, J., Howarth, R.J., Schields, G.A. (2012) *Strontium isotope stratigraphy*. In: Gredstein FM, Ogg JG, Schmotz MD, Ogg GM (ed.) The Geological Time Scale. Elsevier 7:127–144.

Mcarthur, A. J. M., Howarth, R. J., Bailey, T. R., Mcarthur, J. M., Howarth, R. J., Bailey, T. R. (2013). *Strontium Isotope Stratigraphy. LOWESS Version 3 : Best Fit to the*

- Marine Sr-Isotope Curve for 0 – 509 Ma and Accompanying Look-up Table for Deriving Numerical Age*. Chicago Journals, 109(2):155–170.
- Moritz, R., Fontboté, L., Spangenberg, J., Rosas, S., Sharp, Z., Fontignie, D. (1996) *Sr, C and O isotope systematics in the Pucará Basin, central Peru*. Mineralium Deposita 31:147-162.
- Nagell, R. H. (1957). *Anhydrite Complex of the Morococha district, Peru*. Economic Geology, 52(10):632–644.
- Nagell, R. H. (1960). *Ore controls in the Morococha District, Peru*. Economic Geology, 55(5):962–984.
- Ohmoto, R. H. (1972). *Systematics of Sulfur and Carbon Isotopes in Hydrothermal Ore Deposit*. Economic Geology, 67(5):551-578.
- Olcese, K., Rosas, S. (2023). *Microfacies sedimentarias y microfácies como guía de identificación del límite entre Formaciones del Grupo Pucará (Triásico Superior - Jurásico Inferior): Sección Cerro Toldo (Junín, Perú)*. XXI Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú.
- Panca, F., Bahlburg, H., Berndt, J. (2018) *Provenance, chronostratigraphic framework and volcanosedimentary facies architecture of the permotriassic Mitu Group in Southern Peru, Central Andes*. XIX Congreso Peruano de Geología, SGP, p. 513-516.
- Pérez, J., Kouzmanov, K., Fontboté, L., Astorga, C. (2011) *Mineralization, structural, and geochemical characteristics of the Toldojirca prospect and the San Andrés vein, Morococha district, central Peru*. 11th biennial Meeting, SGA, p. 247-249.
- Perona J, Canals À, Cardellach E (2018) *Zn-Pb mineralization associated with salt diapirs in the Basque-Cantabrian basin, Northern Spain: Geol, geochemistry, genetic model*. Economic Geology 113:1133–1159.

- Petersen, U. (1965). *Regional Geology and Major Ore Deposits of Central Peru*. Economic Geology 60 (3):407–476.
- Petersen, U. (1972) *Nuevas Investigaciones de Yacimientos Peruanos*. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú 42:36-52.
- Ramírez, J., Torró, L., Quispe, P., Benites, D., Vallance, J., Rosas, S., Guzmán, L., Fernández-Baca, A., Spangenberg, J.E., Vennemann, T., Chiaradia, M., Kouzmanov, K., Fontboté, L. (2022) *Isotopic compositions of sulfides (S) and anhydrite (S, O, Sr) from the Ayawilca polymetallic deposit, Pasco, Peru*.
- Ritterbush, K. A., Rosas, S., Corsetti, F. A., Bottjer, D. J., West, A. J. (2015). *Andean sponges reveal long-term benthic ecosystem shifts following the end-Triassic mass extinction*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 420:193–209.
- Rivera, N., Kobe, H.W. (1983) *Evolución geológica del Domo de Yuali*. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú 72:159-175.
- Rosas, S. (1994). *Facies, diagenetic evolution, and sequence analysis along a SW-NE profile in the southern Pucará basin (Upper Triassic-Lower Jurassic), Central Peru*. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Heidelberg-Alemania.
- Rosas, S., Fontboté, L. (1995). *Evolución sedimentológica del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior) en un perfil SW-NE en el centro del Perú*. Sociedad Geológica del Perú. Volumen Jubilar Alberto Benavides, 279.
- Rosas, S., Fontboté, L., Tankard, A. (2007). *Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru*. Journal of South American Earth Sciences, 24(1):1–24.
- Rosenbaum, G., Giles, D., Saxon, M., Betts, P. G., Weinberg, R. F., Duboz, C. (2005). *Subduction of the Nazca Ridge and the Inca Plateau : Insights into the formation of ore deposits in Peru*. Earth and Planetary Science Letters, 239(1-2):18–32.

- Salazar, H. (1983). Geología de los Cuadrángulos de: Matucana y Huarochiri, Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 36, Serie A. 79
- Schaltegger, U., Guex, J., Bartolini, A., Schoene, B., Ovtcharova, M., (2008). Precise U–Pb age constraints for end-Triassic mass extinction, its correlation to volcanism and Hettangian post-extinction recovery. *Earth and Planetary Science Letters*, 267:266–275.
- Scherrenberg, A. F., Kohn, B. P., Holcombe, R. J., Rosenbaum, G. (2016). *Thermotectonic history of the Marañón Fold – Thrust Belt , Peru : Insights into mineralisation in an evolving orogen*. *Tectonophysics*, 667:16–36.
- Spikings, R., Reitsma, M. J., Boekhout, F., Mišković, A., Ulianov, A., Chiaradia, M., Gerdes, A., Schaltegger, U. (2016). *Characterisation of Triassic rifting in Peru and implications for the early disassembly of western Pangaea*. *Gondwana Research*, 35:124–143.
- Steinmann, G. (1929) *Geologie von Peru*. Heidelberg. Carl Winters Universitätsbuchhandlung, 448 p.
- Stipetich (2019) *Relación entre el “complejo de anhidritas” y la mineralización polimetálica de Morococha: un estudio bibliográfico*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.
- Szekely, T., Grose, T. (1972) *Stratigraphy of the carbonate, black shale and phosphate of the Pucará Group (Upper Triassic - Lower Jurassic), Central Andes, Peru*. *Geological Society of America Bulletin*, 83:407-428.
- Terrones, A. (1949). *La estratigrafía del Distrito minero de Morococha*. Sociedad Geológica Del Perú, Jubilar.
- Vallance, J. (2015). *Informe de visita al Cuerpo Esperanza (nivel 160, Zona Alapampa, mina Morococha), y del estudio de 6 secciones pulidas y 19 láminas delgadas*.



Informe para Compañía Minera Argentum S.A.

Zheng, Y. (1999). *Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulphate minerals.*

*Geochemical Journal* 33:109-126



## ANEXO 1

**Tabla A.1 - 1:** Correlación entre los Horizontes descritos por Terrones (1949) para la Formación Potosí, y su porción dentro de la secuencia carbonatada.

| Terrones (1949)               |  |             |          |
|-------------------------------|--|-------------|----------|
| Horizonte                     | Litología  | Espesor (m) | Porción  |
| Horizonte A                   | Capas delgadas de caliza blanca alternado con lutitas roja-parda y lutitas arenosas. | 38          | Superior |
| Brecha de Churruca (superior) | Brecha calcárea.   | 24          |          |
| Horizonte B                   | Caliza blanca-grisácea.  | 12          |          |
| Brecha de Churruca (inferior) | Brecha calcárea.   | 19          |          |
| Horizonte C                   | Caliza gris clara.   | 12          |          |
| Basalto Montero               | Capa basáltica color verde oliva a pardo con textura amigdaloides félsica.           | 17          |          |
| Horizonte D                   | capas delgadas de lutitas y margas alternándose con areniscas calcáreas.             | 62 -108     |          |
| Laura Superior                | Caliza dolomítica fosilífera y con nódulos de sílice.                                | 18          |          |
| Traquita de Sacracancho       | Traquita amigdaloides.   | 5           |          |
| Laura Inferior                | Calizas dolomíticas intercaladas con lutitas y areniscas.                            | 87          | Media    |
| Horizonte E                   | Arenisca gruesa a media intercalada por capas de lutita.                             | 26          |          |
| Horizonte F                   | Calizas dolomíticas fosilíferas de color gris claro a blanco.                        | 64          | Inferior |
| Capas Rojas de Potosí         |  | 24          |          |

**Tabla A.1 - 2:** Resumen de muestras, ubicación y tipo de análisis realizado.

| Muestra      | Afloramiento / Taladro | Profundidad | Corrida | Grupo | Veta / Cuerpo    | ANÁLISIS |    |     |      |             |             |    |   |   |
|--------------|------------------------|-------------|---------|-------|------------------|----------|----|-----|------|-------------|-------------|----|---|---|
|              |                        |             |         |       |                  | SP       | LD | SEM | EMPA | Isótopos    |             |    |   |   |
|              |                        |             |         |       |                  |          |    |     |      | S (sulfuro) | S (sulfato) | Sr | O | C |
| 2019-MOR-001 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | -           | -  | - | ✓ |
| 2019-MOR-002 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | -        | -  | -   | -    | -           | ✓           | ✓  | ✓ | - |
| 2019-MOR-003 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | ✓           | ✓  | ✓ | - |
| 2019-MOR-004 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | -           | -  | - | ✓ |
| 2019-MOR-005 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | ✓           | ✓  | ✓ | - |
| 2019-MOR-006 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | ✓  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-007 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | ✓           | ✓  | ✓ | - |
| 2019-MOR-008 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Veta Morro Solar | ✓        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | ✓ |
| 2019-MOR-009 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Manto Ivette     | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | ✓           | ✓  | ✓ | - |
| 2019-MOR-010 | Afloramiento           | NV. 4025    | -       | -     | Manto Ivette     | ✓        | ✓  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |

| Muestra      | Afloramiento / Taladro | Profundidad | Corrida       | Grupo       | Veta / Cuerpo           | ANÁLISIS |    |     |      |             |             |    |   |   |
|--------------|------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------------------|----------|----|-----|------|-------------|-------------|----|---|---|
|              |                        |             |               |             |                         | SP       | LD | SEM | EMPA | Isótopos    |             |    |   |   |
|              |                        |             |               |             |                         |          |    |     |      | S (sulfuro) | S (sulfato) | Sr | O | C |
| 2019-MOR-011 | Afloramiento           | NV. 4025    | -             | -           | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | ✓           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-012 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 81.35-81.65   | Pucará      | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-013 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 97.00-97.10   | Pucará      | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-014 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 100.15-100.25 | Pucará      | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-015 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 107.30-107.53 | Pucará-Mitu | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-016 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 106.76-106.85 | Mitu        | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-017 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 113.46-113.50 | Mitu        | Manto Ivette            | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-018 | DDH-13A-U-18           | NV. 4025    | 114.80-114.95 | Mitu        | Manto Ivette            | ✓        | ✓  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-019 | DDH-049-U-15           | -           | 199.50-199.75 | -           | Zona de reemplazamiento | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-020 | DDH-049-U-15           | -           | 201.55-201.65 | -           | -                       | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-021 | DDH-049-U-15           | -           | 204.30-204.40 | -           | Manto Ivette            | ✓        | ✓  | -   | -    | -           | -           | -  | - | ✓ |

| Muestra      | Afloramiento / Taladro | Profundidad | Corrida       | Grupo  | Veta / Cuerpo             | ANÁLISIS |    |     |      |             |             |    |   |   |
|--------------|------------------------|-------------|---------------|--------|---------------------------|----------|----|-----|------|-------------|-------------|----|---|---|
|              |                        |             |               |        |                           | SP       | LD | SEM | EMPA | Isótopos    |             |    |   |   |
|              |                        |             |               |        |                           |          |    |     |      | S (sulfuro) | S (sulfato) | Sr | O | C |
| 2019-MOR-022 | DDH-049-U-15           | -           | ?             | -      | Manto Ivette              | ✓        | ✓  | -   | -    | ✓           | ✓           | ✓  | ✓ | ✓ |
| 2019-MOR-023 | DDH-049-U-15           | -           | 235.20-235.47 | Mitu?  | Cuerpo de reemplazamiento | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-024 | DDH-049-U-18           | -           | 1.30-1.40     | Mitu   | Volcánicos Catalina       | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-025 | DDH-049-U-18           | -           | 11.60-11.73   | Mitu   | -                         | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-026 | DDH-049-U-18           | -           | 21.40-21.55   | Mitu   | Cuerpo Rosita             | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | ✓ |
| 2019-MOR-027 | DDH-049-U-18           | -           | 23.50-23.60   | Mitu   | Cuerpo Rosita             | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-028 | DDH-049-U-18           | -           | 24.25-24.45   | Pucará | -                         | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-029 | DDH-049-U-18           | -           | 33.85-34.00   | -      | -                         | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-030 | DDH-103-U-18           | -           | 157.85-158.05 | Mitu   | Volcánicos catalina       | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-031 | DDH-103-U-18           | -           | 158.05-158.20 | -      | -                         | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |
| 2019-MOR-032 | DDH-103-U-18           | -           | 158.90-159.00 | -      | Veta Isabel               | ✓        | ✓  | -   | -    | -           | -           | -  | - | - |

| Muestra      | Afloramiento / Taladro | Profundidad | Corrida       | Grupo | Veta / Cuerpo             | ANÁLISIS |    |     |      |             |             |    |   |    |
|--------------|------------------------|-------------|---------------|-------|---------------------------|----------|----|-----|------|-------------|-------------|----|---|----|
|              |                        |             |               |       |                           | SP       | LD | SEM | EMPA | Isótopos    |             |    |   |    |
|              |                        |             |               |       |                           |          |    |     |      | S (sulfuro) | S (sulfato) | Sr | O | C  |
| 2019-MOR-033 | DDH-047-U-18           | NV. 4045    | 3.05-3.10     | -     | Cuerpo Rosita / Veta Rubí | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-034 | DDH-047-U-18           | NV. 4045    | 18.0-18.50    | -     | Cuerpo Rosita / Veta Rubí | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-035 | DDH-047-U-18           | NV. 4045    | 18.75-18.90   | -     | Cuerpo Rosita / Veta Rubí | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-036 | DDH-047-U-18           | NV. 4045    | 31.85-31.90   | -     | Cuerpo Rosita / Veta Rubí | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-037 | DDH-047-U-18           | NV. 4045    | 32.30-32.35   | -     | Cuerpo Rosita / Veta Rubí | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-038 | DDH-047-U-18           | NV. 4045    | 39.9          | -     | Cuerpo Rosita / Veta Rubí | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-039 | DDH-190-U-18           | -           | 186.05-186.15 | -     | Ramal Alianza             | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| 2019-MOR-040 | DDH-190-U-18           | -           | 185.80-185.85 | -     | Ramal Alianza             | -        | -  | -   | -    | -           | -           | -  | - | -  |
| Total        |                        |             |               |       |                           | 23       | 16 | 0   | 0    | 9           | 6           | 6  | 6 | 13 |

**Tabla A.1 - 3: Resumen del estudio en microscopio óptico (PPL y XPL).**

| Muestra      | Nivel / Taladro | Veta / Cuerpo | Descripción  | Mineralogía  |
|--------------|-----------------|---------------|--|--|
| 2019-MOR-001 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar<br><br>Núcleo de pirita rodeado por ribete de esfalerita que lo separa del cuerpo de anhidrita (anh) – pirita (py).<br><br>- Núcleo de pirita formado principalmente por cristales de py microfracturados y reemplazados, en una matriz de cuarzo (qtz), carbonatos (CBs) y yeso (gy).<br>- Ribete de esfalerita (sph) con oclusiones de py.<br>- Cuerpo de anh-py formado por cristales de py diseminados en una matriz de anh con escaso qtz. | Núcleo de pirita:<br>- Py intercrecida entre cristales de qtz 1 anhedral, presentando relictos de qtz y anh en su interior.<br>- Py reemplazada por sph, calcopirita (cpy), cobres grises (CGs) y galena (gn).<br>- Bornita (bo) como inclusión en py.<br>- Sph limpia o con escasas diseminaciones de cpy, y con “chalcopyrite disease”.<br>- Reemplazamiento por CBs.<br>- Nódulos de gy con relictos de anh y CBs en su interior.<br><br>Ribete de esfalerita:<br>- Sph con “chalcopyrite disease”, con oclusiones de py euهدral a anhedral, y mínimamente reemplazado por cpy, CGs y gn.<br>- Inclusiones de Telurio nativo (Te) en la sph.<br><br>Cuerpo de anhidrita-pirita:<br>- Matriz de anh, con escasos: qtz, hubnerita (hub), alcali-oxiapatito (ap)<br>- Py 1 euهدral a anhedral intercrecida, oquerosa, presentando relictos de anh en su interior.<br>- Py 1 parcialmente reemplazada, en orden, por: sph, cpy, CGs y gn.<br>- Inclusiones de bo, digenita (dg) y covelita (cov), en la py. |
| 2019-MOR-003 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar<br><br>Contacto del ribete de anhidrita con el cuerpo de anhidrita-pirita.  | Ribete de esfalerita<br>- Sph limpia o con “chalcopyrite disease” intercrecida entre cristales de qtz, presentando oclusiones de py euهدral a anhedral, y parcialmente reemplazado por cpy, CGs y gn.<br>- Inclusiones en py de: bo, dg, estannoidita (std), vinciennita (vn), y cpy reemplazada por vn, bo y dg.<br>- Vetillas de gy con sulfuros (slf) y CGs finos en su interior.<br><br>Cuerpo de anhidrita-pirita:<br>- Py 1 euهدral a anhedral intercrecida, oquerosa, presentando relictos de anh en su interior.<br>- Reemplazamiento de py, en orden, por: sph, cpy, CGs, y gn.<br>- Inclusiones de cpy, bo, dg en py.<br>- Qtz euهدral con relictos de anh en su interior.<br>- Reemplazamiento de anh por CBs.  |

| Muestra      | Nivel / Taladro | Veta / Cuerpo | Descripción  | Mineralogía   |
|--------------|-----------------|---------------|--|---|
| 2019-MOR-004 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar<br>Núcleo de veta de anhidrita, cortada por vetillas de carbonatos rosa pálido y yeso paralelas a su dirección. Sobre las vetas de carbonatos se registran cristales de esfalerita. | Veta de anh:<br>- Cristales anhedrales gruesos de anh intercrecidos con cristales anhedrales de plagioclasa (plg), y baritina (ba).<br>Veta de CBs:<br>- Cristales de CBs con hábito romboidal y con relictos de qtz.<br>- Asociación de qtz, anh, ba y slf; los tres últimos presentado relictos de qtz en su interior.<br>- Sph intercrecida entre cristales de qtz, presentando relictos de py y escasamente reemplazada por cpy, CGs, gn.<br>- Inclusiones en sph de pirargirita.<br>- Minerales accesorios: std (reemplazando a cpy)<br>Veta de gy tardías:<br>- Gy con relictos de anh de su interior.  |
| 2019-MOR-005 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar<br>Veta de calcopirita corta matriz de anhidrita - cuarzo   | Veta de slf:<br>- Mineralogía principal: py, sph, cpy, CGs, y gn. Minerales crecieron entre los intersticios de anh-qtz 1, encontrándolos como relictos en su interior.<br>- Orden de cristalización de slf: py, sph, cpy, CGs, y gn; cada cual reemplazando a los anteriores.<br>- Inclusiones de cpy, gn, bo, dg, std y telurbitita (tb) en py.<br>- Dos variedades de CGs.<br>- Inclusiones de std en CGs y gn.<br>- Intercrecimiento mirmequítico entre CGs y gn.<br>- Reemplazamiento puntual de cpy por hessita (hs) y petzita (ptz).<br>Matriz de anh-qtz<br>- Cristales de anh crecieron entre los intersticios de qtz.<br>- Anh alterada por CBs a través de intersticios.<br>- Vetillas de gy tardías.<br>- Slf diseminados e intercrecidos con cristales de qtz y rodeando a los cristales de anh.<br>- Electrum puntual en la matriz. |
| 2019-MOR-006 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar<br>Sulfuros diseminados en una matriz de cuarzo y carbonatos, con presencia de nódulos de anh.  | - Qtz: anhedral pequeño (qtz 1) con crecimiento epiaxial; y anhedral grueso con relictos de anh.<br>- Cristales de slf crecidos entre los intersticios de qtz 1 y anh; presentando relictos de ambos en su interior.<br>- Orden de cristalización de los slf: py, sph, cpy, CGs, y gn; cada cual reemplazando a los anteriores.<br>- Inclusiones de cpy, bo, dg y gn en pirita.<br>- Cristales tabulares de ba, con qtz anhedral precipitado gravitacionalmente sobre sus cristales.<br>- Nódulos de anh cortados por vetillas de qtz.<br>- Reemplazamiento por CBs del conjunto.   |



| Muestra      | Nivel / Taladro | Veta / Cuerpo | Descripción      | Mineralogía  |   |
|--------------|-----------------|---------------|------------------|--|---|
| 2019-MOR-007 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar | Lentes de esfalerita marrón rojiza al contacto con nódulo de yeso y nódulo de carbonatos.    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cristales de anh forman: nódulos de anh gruesa, y matriz de anh fina.</li> <li>- Nódulos de anh gruesa limpios y reemplazados por CBs finos desde sus bordes.</li> <li>- Anh fina en la matriz alterada por CBs finos y gy a través de intersticios.</li> <li>- Cristales anhedrales de sph crecen entre los intersticios de anh, presentando qtz y anh como relictos.</li> <li>- Sph con escasas oclusiones de py, e inclusiones de cpy, CGs, y gn.</li> <li>- CBs gruesos crecieron entre intersticios de la matriz y alteraron parcialmente a la sph.</li> <li>- Vetillas de gy tardías.</li> </ul>   |
| 2019-MOR-008 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Veta Morro Solar | Brecha de caliza cristaliza en matriz de anhídrita removilizada.                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clastos de clz conformados por CBs, con escasos cristales de qtz, ba, plg, anh.</li> <li>- Recristalización de CBs de los clastos al contacto con matriz de anh, formando un ribete de CBs.</li> <li>- Sulfuros: py, sph, CGs y gn; disseminados en el interior del clasto.</li> <li>- Orientación y mayor agrupación de slf dentro del ribete de recristalización de CBs.</li> <li>- Matriz de anh reemplazada a gy.</li> </ul>   |
| 2019-MOR-009 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Manto Ivette     | Núcleo de pirita.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cristales de py anhedrales e intercrecidos, en algunos casos oquerosos, escasamente reemplazada a través de bordes, intersticios y porosidades por sph, cpy, CGs, gn.</li> <li>- Inclusiones de bo, dg, std en py.</li> <li>- Cpy reemplazada por aikinita (ak).</li> <li>- Inclusiones de std en sph y CGs.</li> <li>- Sph reemplazada por cpy, ambos por CGs, y todo por gn.</li> </ul>  |
| 2019-MOR-010 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Manto Ivette     | Sulfuros disseminados en una matriz de yeso, CBs, oropimente y escaso cuarzo.                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Slf, en orden de cristalización: py, sph, cpy, CGs, y gn; cada uno reemplazando a los anteriores.</li> <li>- Relictos de anh en el interior de los slf.</li> <li>- Matriz de: principalmente gy con relictos de anh, y escasos cristales de qtz, oropimente (op) y CBs.</li> <li>- Qtz: euhedral grueso con relictos de anh, anhedral grueso.</li> <li>- Inclusiones de cpy, bo, dg, vn, std y gn en py.</li> <li>- Sph: con "cpy disease", y limpia.</li> <li>- Inclusiones de cpy, vn y std en sph 2.</li> <li>- Cpy: disseminaciones de "cpy disease", agregados irregulares.</li> <li>- Reemplazamiento de slf por CBs.</li> <li>- Py reemplazada por bravoita (brv) desde sus bordes.</li> <li>- Vn, std como inclusiones puntuales en CGs</li> </ul> |
| 2019-MOR-011 | Afloramiento    | Nv. 4025      | Manto Ivette     | Brecha de caliza sobre cuyos clastos creció esfalerita schalenblenda, en una matriz de yeso. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clastos de clz recristalizados desde sus bordes. En dicha recristalización se registran disseminados de sulfuros (py, sph, cpy).</li> <li>- Amplias playas de sph "schalenblenda" parcialmente reemplazada por cristales anhedrales a euhedrales de gn.</li> </ul>   |

| Muestra      | Nivel / Taladro | Veta / Cuerpo | Descripción   | Mineralogía   |
|--------------|-----------------|---------------|---|---|
| 2019-MOR-018 | Afloramiento    | DDH-13A-U-18  | Manto Ivette<br>Veta de pirita en contacto con roca de caja y nódulo de yeso.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veta de py reemplazada por sph, CGs, gn, brv.</li> <li>- Inclusiones de cpy, bo, gn en py.</li> <li>- Microbrecha: clastos de clz con oolitos, espículas de esponja y remanentes de anh.</li> <li>- Slf crecieron en el interior de los clastos y sobre sus bordes.</li> <li>- Roca caja: clz con diseminación de py anhedral a subhedral intercrecidos con cristales de qtz.</li> <li>- Matriz de yeso.</li> </ul>  |
| 2019-MOR-021 | Afloramiento    | DDH-049-U-15  | Manto Ivette<br>Contacto entre nódulo de yeso y carbonatos con textura coloforme crecidos sobre clastos con diseminación de esfalerita. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- CBs: anhedrales en el interior del clasto, bandas anhedrales y euhedrales que conforman la textura coloforme.</li> <li>- Clastos conformados por un agregado de: qtz, ba, slf y CBs.</li> <li>- Slf en clasto: principalmente sph intercrecida con cristales de qtz, escasas py, CGs</li> <li>- Ribete de sph-gn, la primera parcialmente reemplazada por la segunda.</li> <li>- Slf en el interior de las bandas de CBs, con relictos de qtz y CBs.</li> <li>- Cristales de qtz orientados según la banda de carbonatos coloformes.</li> <li>- Cristales de ba: acicular en el interior del clasto, acicular fina sobre CBs coloformes, tabulares gruesos, y tabulares-aciculares cortos sobre la ba anterior.</li> </ul>   |
| 2019-MOR-022 | Afloramiento    | DDH-049-U-15  | Manto Ivette<br>Brecha de caliza cristalina en una matriz de anhidrita, cortada por veta de sulfuros tardío.                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clastos de caliza (clz) cristalina con relictos de anh sedimentaria.</li> <li>- Anh de la matriz alterada por filosilicatos al contacto con clastos de clz.</li> <li>- Vetillas de anh cortadas por vetas de CBs.</li> <li>- Anh 1 recristaliza donde vetilla de CBs fino la corta.</li> <li>- Orientación de slf a lo largo de vetillas de anh reemplazada a gy.</li> <li>- Diseminación de slf finos en clastos de clz.</li> <li>- Crecimiento granulométrico gradual desde los slf diseminados en la clz hacia el interior de la veta de slf; el tamaño de los CBs es directamente proporcional al tamaño de los slf de la veta.</li> <li>- Vetilla de slf en matriz de CBs de, parcialmente reemplazados por filosilicatos. Escasos cristales de qtz orientado en dirección de la vetilla de slf.</li> </ul> |
| 2019-MOR-026 | Afloramiento    | DDH-049-U-18  | Cuerpo Rosita<br>Veta de sulfuros cortada por vetilla de carbonato tardío.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Veta de slf en matriz de CBs anhedrales, que en parte los reemplaza.</li> <li>- Veta de sulfuros conformada por: principalmente py, sph, gn, y con escasa cpy y CGs.</li> <li>- Orden de cristalización: py, sph, cpy, CGs, gn, CBs; cada mineral reemplaza parcialmente a los anteriores.</li> <li>- Sph zonada con "cpy disease", con la cpy alineada según los planos de clivaje de la sph.</li> <li>- Veta de CBs tardío con cristales de hábito romboidal, cortan la veta de slf.</li> </ul>  |
| 2019-MOR-032 | Afloramiento    | DDH-103-U-18  | Veta Isabel<br>Sulfuros diseminados en una matriz de carbonatos, y cortados por vetas de carbonato tardío.                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfuros intercrecidos entre escasos cristales de qtz.</li> <li>- Cristales de qtz: pequeños anhedrales, euhedrales y gruesos anhedrales.</li> <li>- La sph es el principal slf, se presenta: con "cpy disease" y limpia.</li> <li>- Sulfuros en orden de cristalización: py, sph, cpy, CGs, gn; cada mineral reemplaza parcialmente a los anteriores.</li> <li>- Reemplazamiento de los sulfuros por los CBs de la matriz.</li> <li>- Diferentes generaciones de vetillas: CBs grueso con hábito romboidal, CBs finos anhedrales</li> </ul>   |

**Tabla A.1 - 4:** Resultados de los análisis de isótopos de C y O en carbonatos. Abreviaciones: cc – calcita, rod - rodocrosita, dol - dolomita.

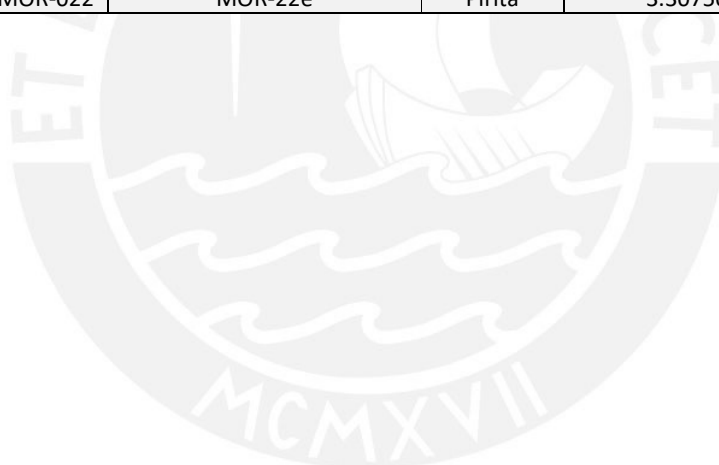
| Muestra      | Nombre de muestra en Vial | Mineral | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}\text{‰}$ |
|--------------|---------------------------|---------|--|--|---|
| 2019-MOR-001 | MOR-1A                    | rod     | -6.58                                      | -1.79                                      | 29.06                                       |
| 2019-MOR-001 | MOR-1B                    | rod     | -6.76                                      | -2.3                                       | 28.54                                       |
| 2019-MOR-004 | MOR-4A                    | rod     | -7.25                                      | -2.68                                      | 28.15                                       |
| 2019-MOR-004 | MOR-4B                    | rod     | -7.47                                      | -2.96                                      | 27.86                                       |
| 2019-MOR-008 | MOR-8A                    | rod     | -7.47                                      | -3.52                                      | 27.28                                       |
| 2019-MOR-008 | MOR-8B                    | rod     | -6.65                                      | -2.25                                      | 28.59                                       |
| 2019-MOR-008 | MOR-8C                    | rod     | -7.18                                      | -2.26                                      | 28.58                                       |
| 2019-MOR-021 | MOR-21A                   | rod     | -7.47                                      | -5.46                                      | 25.28                                       |
| 2019-MOR-021 | MOR-21B                   | rod     | -7.57                                      | -5.75                                      | 24.98                                       |
| 2019-MOR-026 | MOR-26A                   | rod     | -9.86                                      | -3.76                                      | 27.03                                       |
| 2019-MOR-026 | MOR-26B                   | rod     | -9.94                                      | -4.26                                      | 26.52                                       |
| 2019-MOR-022 | MOR-22A                   | cc+dol  | 0.28                                       | -8.96                                      | 21.68                                       |
| 2019-MOR-022 | MOR-22B                   | cc+dol  | 0.38                                       | -9.62                                      | 20.99                                       |
| 2019-MOR-022 | MOR-22A                   | cc+dol  | 1.77                                       | -7.48                                      | 23.2  |
| 2019-MOR-022 | MOR-22B                   | cc+dol  | 1.88                                       | -7.26                                      | 23.43                                       |

**Tabla A.1 - 5:** Resultados de los análisis de isótopos de S, O y Sr en anhidritas.

| Muestra      | Nombre de muestra en Vial | $\text{d}^{34}\text{S}$ (‰, VCDT) | $\text{d}^{18}\text{O}$ (‰, VSMOW) | FC $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 2019-MOR-002 | MOR-2a                    | 15.13854                          | 16.67765                           | 0.708                              |
| 2019-MOR-002 | MOR-2a                    | 15.96020                          |                                    |                                    |
| 2019-MOR-003 | MOR-3a                    | 21.94347                          | 17.99810                           | 0.708                              |
| 2019-MOR-003 | MOR-3a                    | 22.73832                          |                                    |                                    |
| 2019-MOR-005 | MOR-5a                    | 18.41223                          | 10.89241                           | 0.708                              |
| 2019-MOR-005 | MOR-5a                    | 17.97296                          |                                    |                                    |
| 2019-MOR-007 | MOR-7a                    | 16.60579                          | 1.46754                            | 0.708                              |
| 2019-MOR-007 | MOR-7a                    | 17.02404                          |                                    |                                    |
| 2019-MOR-009 | MOR-9a                    | 15.24799                          | 10.55544                           | 0.716                              |
| 2019-MOR-009 | MOR-9a                    | 23.55256                          |                                    |                                    |
| 2019-MOR-022 | MOR-22a                   | 15.76629                          | 15.86365                           | 0.708                              |
| 2019-MOR-022 | MOR-22a                   | 15.83689                          |                                    |                                    |

**Tabla A.1 - 6:** Resultados de los análisis de isótopos de S en sulfuros.

| Muestra      | Nombre de muestra en Vial | Mineral    | d <sup>34</sup> S (‰, VCDT) |
|--------------|---------------------------|------------|-----------------------------|
| 2019-MOR-001 | MOR-1a                    | Pirita     | 5.59623                     |
| 2019-MOR-001 | MOR-1a                    | Pirita     | 5.19195                     |
| 2019-MOR-001 | MOR-1b                    | Esfalerita | 5.69887                     |
| 2019-MOR-001 | MOR-1b                    | Esfalerita | 6.05588                     |
| 2019-MOR-003 | MOR-3c                    | Pirita     | 6.00002                     |
| 2019-MOR-003 | MOR-3c                    | Pirita     | 6.25163                     |
| 2019-MOR-004 | MOR-4a                    | Esfalerita | 5.84480                     |
| 2019-MOR-004 | MOR-4a                    | Esfalerita | 6.15255                     |
| 2019-MOR-005 | MOR-5c                    | Esfalerita |                             |
| 2019-MOR-005 | MOR-5c                    | Esfalerita |                             |
| 2019-MOR-007 | MOR-7c                    | Esfalerita |                             |
| 2019-MOR-007 | MOR-7c                    | Esfalerita |                             |
| 2019-MOR-009 | MOR-9c                    | Pirita     | 4.31941                     |
| 2019-MOR-009 | MOR-9c                    | Pirita     | 4.14334                     |
| 2019-MOR-011 | MOR-11a                   | Esfalerita | 1.99969                     |
| 2019-MOR-011 | MOR-11a                   | Esfalerita | 1.97922                     |
| 2019-MOR-022 | MOR-22e                   | Pirita     | 3.15314                     |
| 2019-MOR-022 | MOR-22e                   | Pirita     | 3.30750                     |



## ANEXO 2

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA                       |                       |   |
|--|-----------------------|---|
| Referencia: 001-LP                             | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN                                    |                       |   |
| Núcleo de pirita en cuerpo de reemplazamiento. |                       |   |

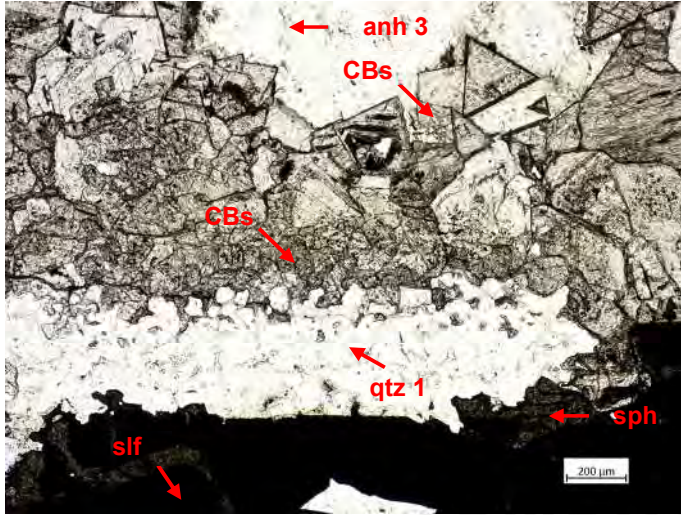


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |  |
|----------------|--|--|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> sulfuros (pirita, esfalerita, otros)</p> <p><i>Abundante:</i> yeso, carbonatos, cuarzo, anhidrita</p> <p><i>Escasos:</i></p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La lámina delgada corresponde a un núcleo de pirita presentando un nódulo de anhidrita reemplazada a yeso. El núcleo se compone por cristales euhedrales a anhedrales de pirita crecidos entre los intersticios del cuarzo anhedral (qtz 1), y presentando remanentes de este mineral y de anhidrita (anh1) en su interior. La pirita se presenta en algunos casos fracturada y reemplazada por esfalerita a través de los espacios dejados por las microfracturas, pero principalmente a través de bordes. La esfalerita se presenta como cristales anhedrales zonados que crecen a través de los intersticios del cuarzo y la pirita. Todo en conjunto es reemplazado por dos tipos de carbonatos: cristales pequeños y anhedrales, y cristales grandes euhedrales. Este último proviene de la recristalización de los carbonatos, presentándose al contacto con el nódulo. Junto con los carbonatos se reconoce una segunda generación de cuarzo formado cristales euhedrales de mayor tamaño (qtz 2). Dentro del nódulo se reconoce una anhidrita gruesa formando cristales anhedrales reemplazada a yeso, el cual, además, reemplaza a los carbonatos, presentando relictos de ambos en su interior, y creciendo entre los intersticios de los minerales del núcleo de pirita.</p> |

FOTO 1

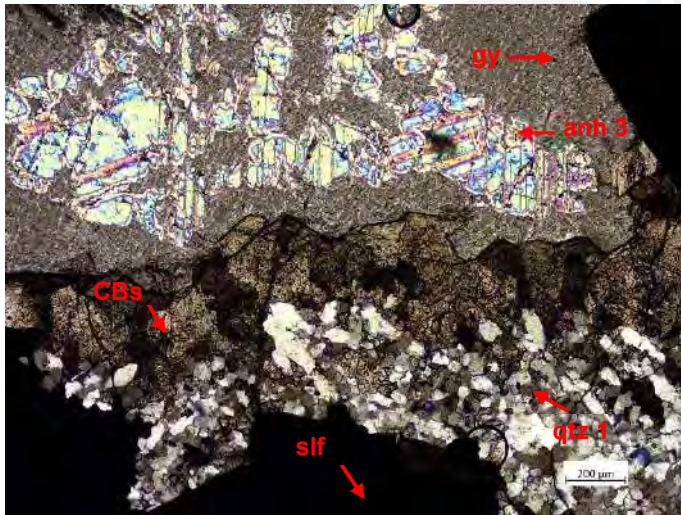


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros y carbonatos crecidos en los intersticios de cuarzo (qtz 1). Se observa una recristalización de los carbonatos al contacto con el nódulo de anhidrita posteriormente reemplazada a yeso.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 2

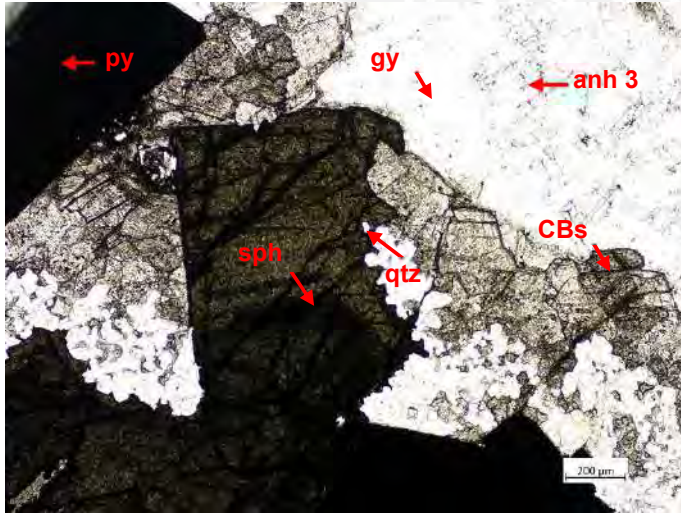


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Sulfuros y carbonatos crecieron en intersticios de cuarzo (qtz 1). Se observa una recristalización de los carbonatos al contacto con el nódulo de anhidrita posteriormente reemplazada a yeso.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 3

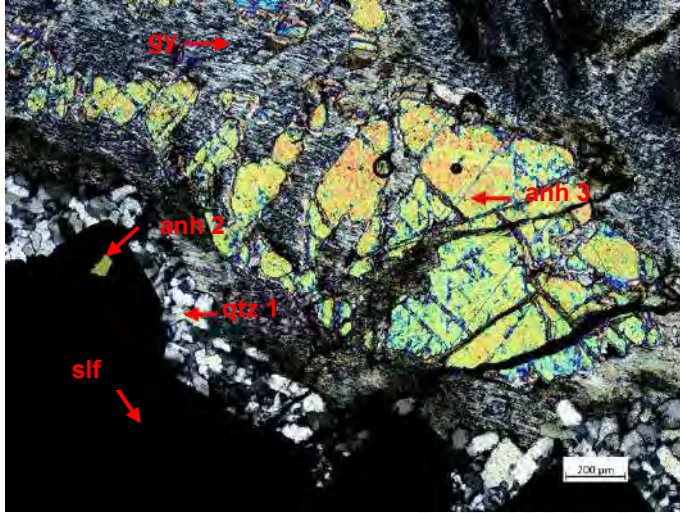


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita zonada crece en intersticios de cuarzo y carbonatos y presenta un remanente de cuarzo.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita

FOTO 4

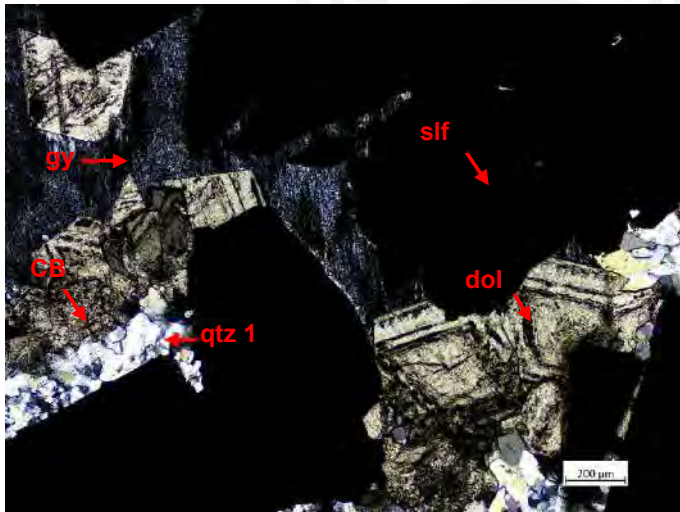


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Remanente de anh en cristal de sulfuro, y en nódulo de yeso.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros

FOTO 5

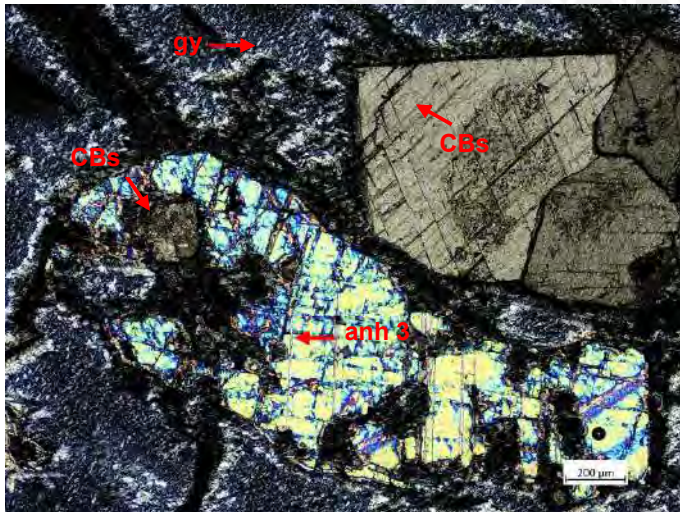


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Dolomitización de los carbonatos, reconocidos por su hábito romboidal.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; dol: dolomita; gy: yeso; slf: sulfuros

FOTO 6

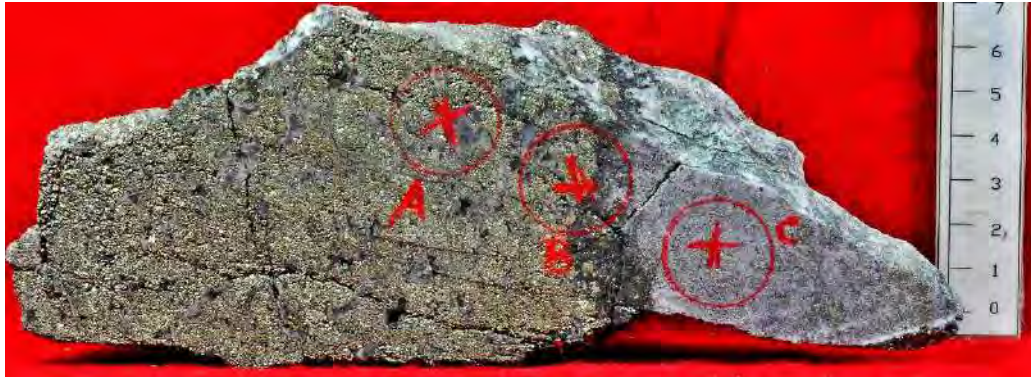


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Reemplazamiento de carbonatos y anhidrita por grandes cristales de yeso.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; CBs: carbonatos; py: pirita.

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 001-SPA   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN  |                              |  |
| Núcleo de pirita rodeado por un ribete de esfalerita dentro de un cuerpo de reemplazamiento. |                              |  |



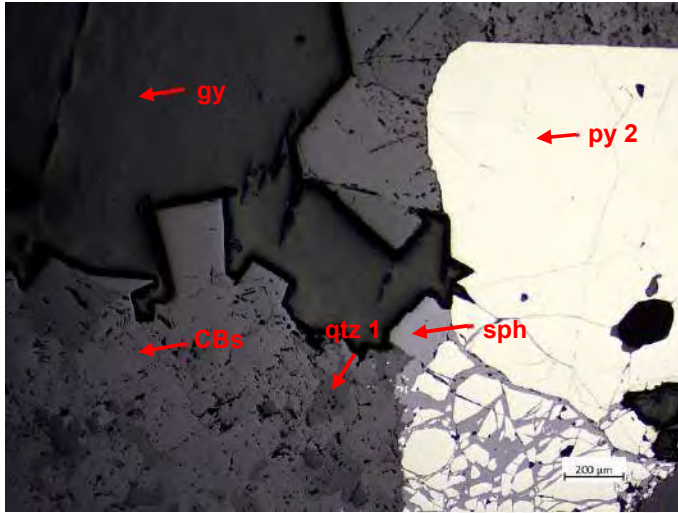
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida A.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> pirita</p> <p><i>Abundante:</i> carbonatos, yeso, anhidrita, cuarzo, esfalerita</p> <p><i>Escasos:</i> galena, cobres grises, calcopirita, oropimente</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita</p> | <p>La sección se ubica en el interior del núcleo de pirita. Consiste en sulfuros diseminados en una matriz de carbonatos, anhidrita, cuarzo y yeso.</p> <p>La pirita es el primer sulfuro que cristaliza y el más abundante de la sección, llegando a representar el 60-70 % de su área. Los granos de pirita son subhedrales y anhedrales, y se encuentran microfracturados. Calcopirita, esfalerita y galena se presentan como agregados masivos irregulares que reemplazan y/o rellenan microfracturas, intersticios, porosidades y bordes de la pirita. Bornita como inclusión en pirita.</p> <p>La esfalerita se presenta de dos formas: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. Siendo la esfalerita limpia la más abundante de la sección. La esfalerita ha sido reemplazada por sectores por calcopirita (cpy 2), cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y bordes; y por galena a través de microfracturas.</p> <p>La calcopirita presenta relictos de pirita, y ha sido parcialmente reemplazada por cobres grises a través de sus bordes.</p> <p>Los cobres grises se presentan parcialmente reemplazados por galena a través de porosidades, intersticios y bordes.</p> <p>La galena es el último sulfuro en formarse.</p> |



**FOTO 1**

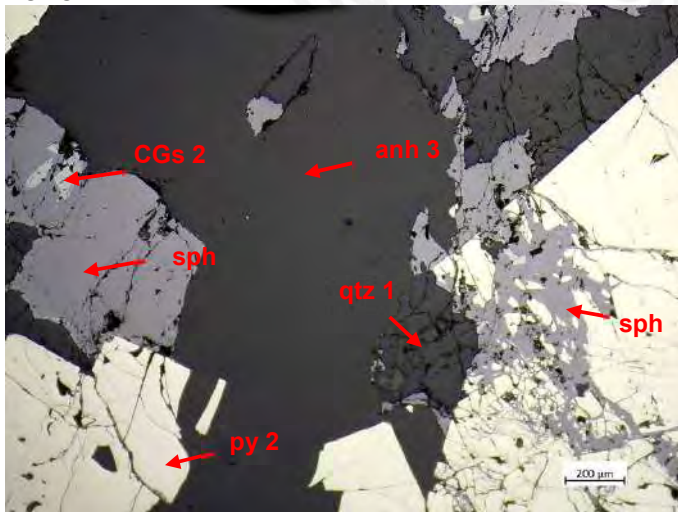


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita microfracturada, cuyas microfracturas se encuentran rellenas por esfalerita. Al contacto de la pirita, se registra una corona de cuarzo; sobre esta, carbonatos y finalmente yeso.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; CBs: carbonatos

**FOTO 2**

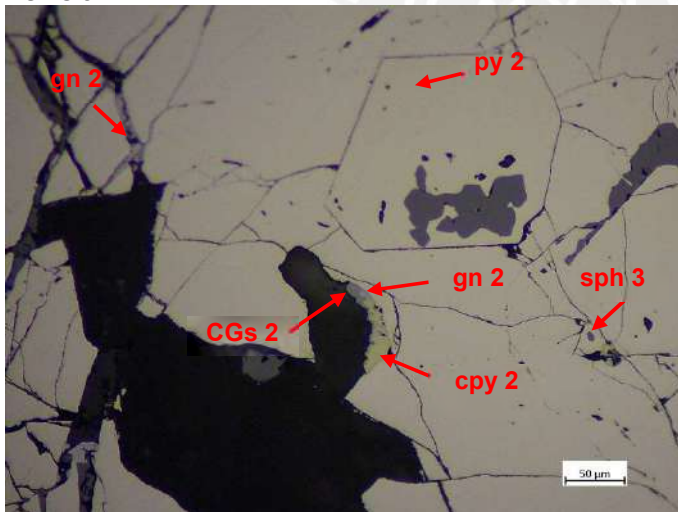


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Vena de anhidrita corta la sección. En su contacto, sulfuros (pirita y cobres grises asociado con esfalerita) y cuarzo.

Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises

**FOTO 3**

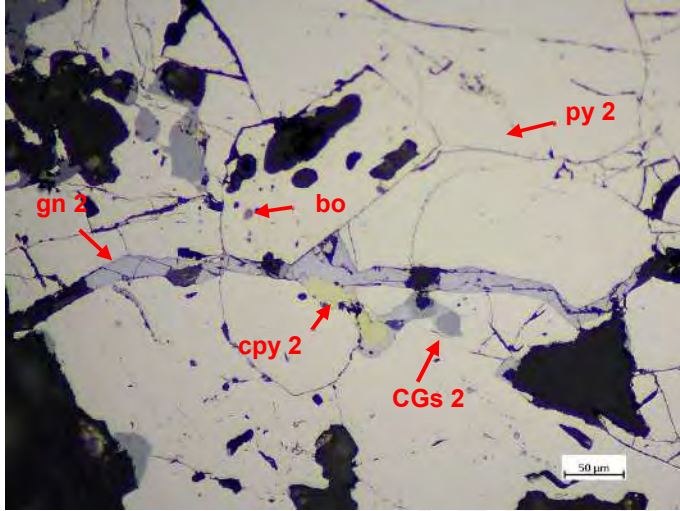


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sobrecrecimiento de cristales de pirita y reemplazamiento de la pirita por sulfuros (calcopirita, esfalerita, galena y cobres grises) desde sus bordes. Las microfracturas y porosidades de la pirita están rellenas por galena, esfalerita y cobres grises.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 4

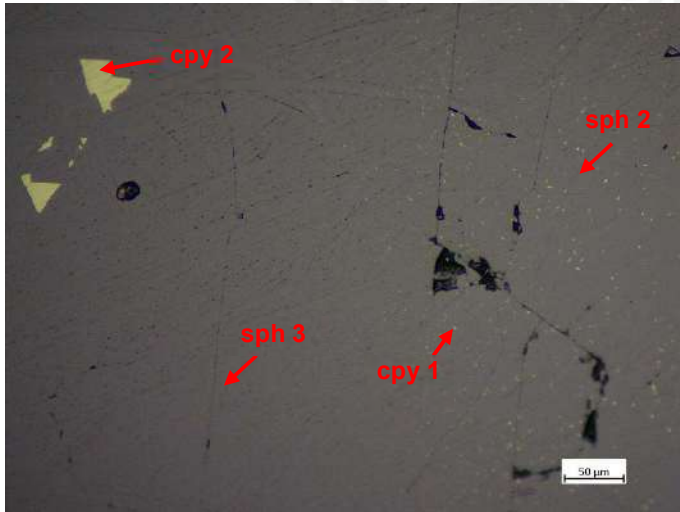


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de la pirita a través de microfracturas e intersticios por sulfuros como calcopirita y cobres grises; y por bornita a través de porosidades.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita

FOTO 5

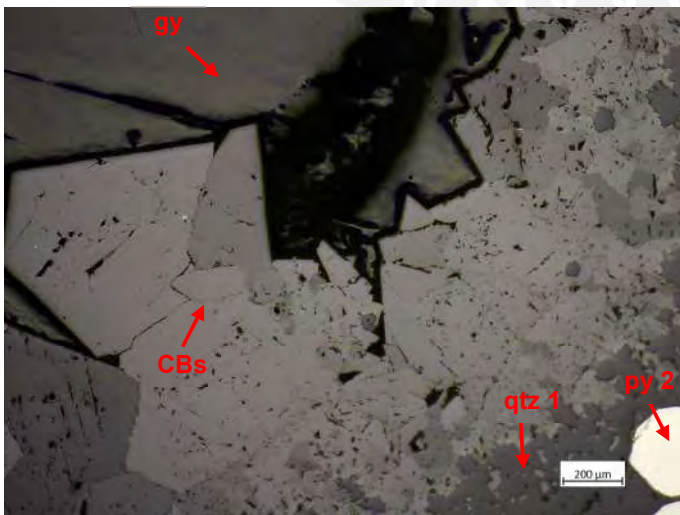


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. La esfalerita se presenta de dos formas: limpia y con "chalcopyrite disease" (cpy 1). En ambos casos, se pueden presentar escasas inclusiones de calcopirita (cpy 2). Siendo la esfalerita limpia la más abundante de la sección.

Sph: esfalerita; cpy: calcopirita

FOTO 6

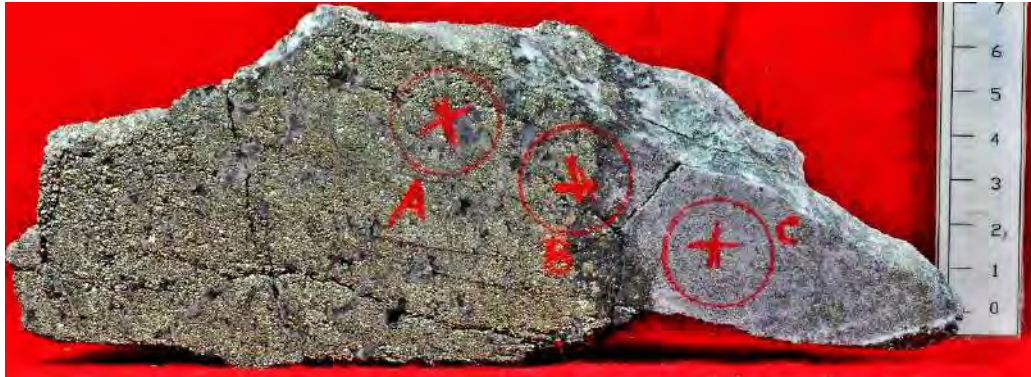


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. El cuarzo es el primer mineral que cristaliza. Los carbonatos crecen a través de los intersticios del cuarzo. El último mineral en cristalizar es el yeso.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; CBs: carbonatos; py: pirita.

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 001-SPB   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN  |                              |  |
| Núcleo de pirita rodeado por un ribete de esfalerita dentro de un cuerpo de reemplazamiento. |                              |  |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida B.



*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> pirita</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita, yeso, anhidrita, carbonatos, cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> galena, cobres grises, calcopirita</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita, telurio nativo</p> | <p>La sección consiste en un núcleo de pirita (1) rodeado por un ribete de esfalerita (2) que lo separa del cuerpo de anhidrita - cuarzo - pirita (3).</p> <p>(1) El núcleo de pirita está compuesto por sulfuros (pirita, esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena) en una matriz de anhidrita, yeso, carbonatos y cuarzo. La pirita es el mineral más abundante del núcleo, llegando a representar el 60% del área de la sección. Los granos de pirita son euhedrales, subhedrales y anhedrales; y en algunos casos, cataclásticos. La pirita se encuentra mayoritariamente reemplazada a través de bordes por: (i) esfalerita limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita y por (ii) esfalerita con “chalcopyrite disease”; y a través de porosidades por esfalerita limpia. La esfalerita, los cobres grises y la galena se presentan como agregados masivos irregulares que reemplazaron a la pirita y ocupan espacios entre sus microfracturas, porosidades, bordes e intersticios. Se encuentra bornita y digenita como inclusiones en la pirita. La esfalerita es el siguiente sulfuro en cristalizar. Este ha sido reemplazado por calcopirita, cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y bordes.</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>En orden de cristalización continúa la calcopirita. Esta ha sido parcialmente reemplazada por cobres grises a través de bordes. Los cobres grises continúan a través de la secuencia. Este mineral se presenta parcialmente reemplazados por galena a través de porosidades, intersticios y bordes. Finalmente, cristaliza la galena.</p> <p>(2) El ribete de esfalerita está formado principalmente por esfalerita con “chalcopyrite disease”, con oclusiones de pirita euhedral a anhedral, y mínimamente reemplazado por calcopirita, cobres grises y galena. Encontrándose además inclusiones de telurio nativo en la esfalerita.</p> <p>(3) El cuerpo de anhidrita – cuarzo – pirita, se describe en la sección 001-SPC.</p> |
|--|--|--|

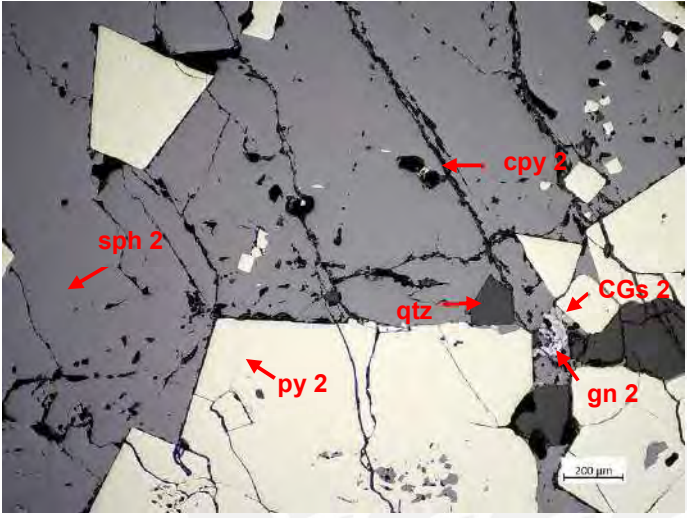
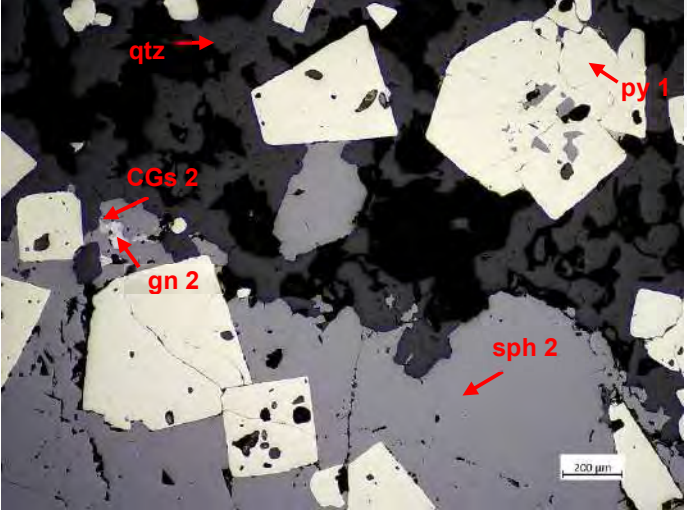
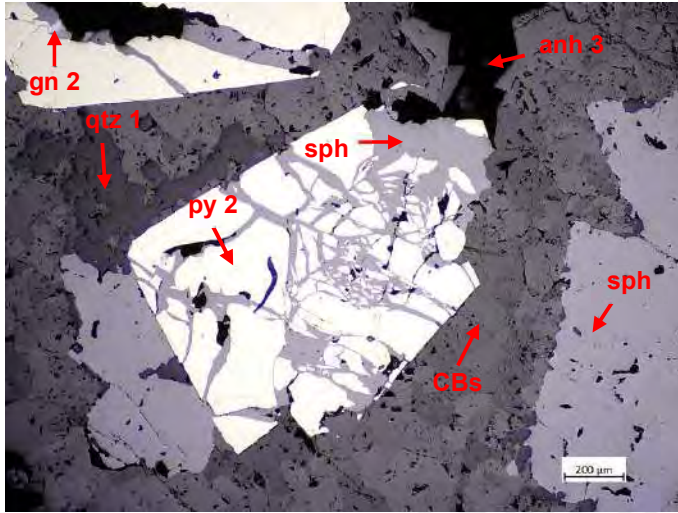
|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Contacto entre el núcleo de pirita y el ribete de esfalerita.</p> <p>Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena</p>                    |
| <p><b>FOTO 2</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Contacto entre el ribete de esfalerita y el cuerpo de anhidrita-cuarzo – pirita.</p> <p>Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena</p> |

FOTO 3

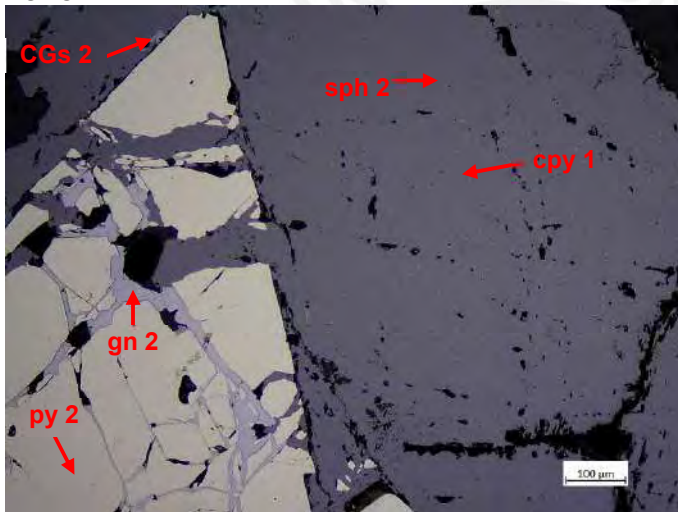


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Grano de pirita microfracturada con relleno de esfalerita, dentro de una vena de carbonatos, cuarzo y anhidrita.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 4

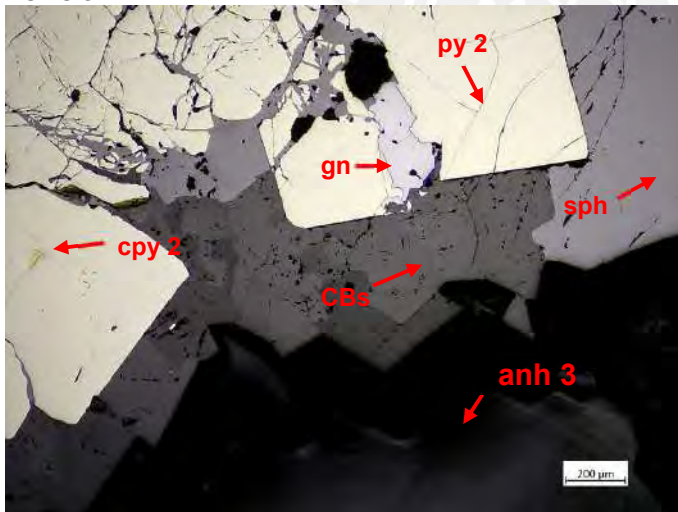


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita parcialmente reemplazada por esfalerita con “chalcopyrite disease” (cpy 1) y galena a través de microfracturas. A su vez, la esfalerita está siendo reemplazada por cobres grises a través del intersticio entre la pirita y la esfalerita.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopyrita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 5

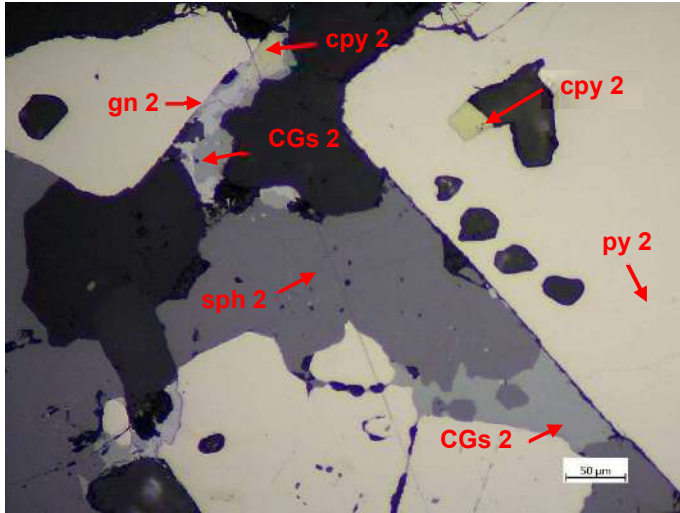


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Dentro del núcleo de pirita se encuentran cristales de pirita reemplazados por galena y carbonatos euhedrales al contacto con un nódulo de anhidrita.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 6

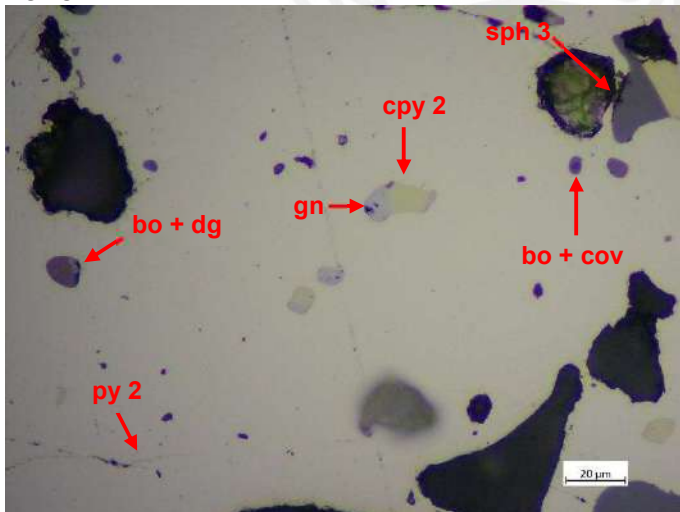


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de la pirita por esfalerita y a su vez todo el conjunto reemplazado por cobres grises y galena a través de intersticios y bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita

FOTO 7

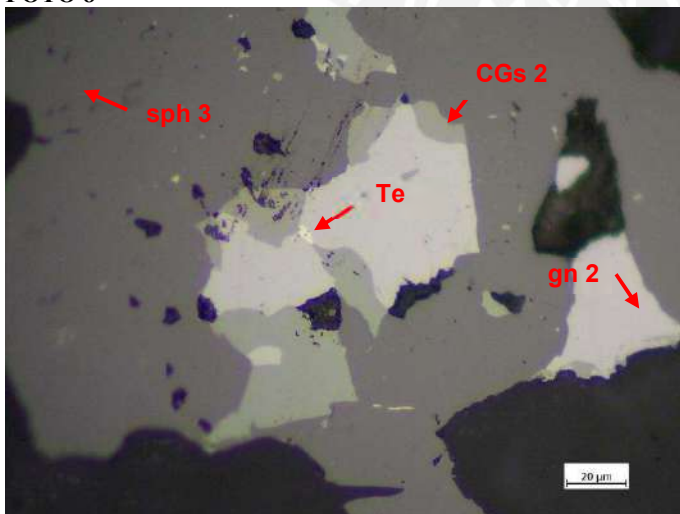


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Calcopirita, galena, bornita y covelita como inclusiones en la pirita.

Py: pirita; cpy: calcopirita; gn: galena; sph: esfalerita; bo: bornita; cov: covelita

FOTO 8

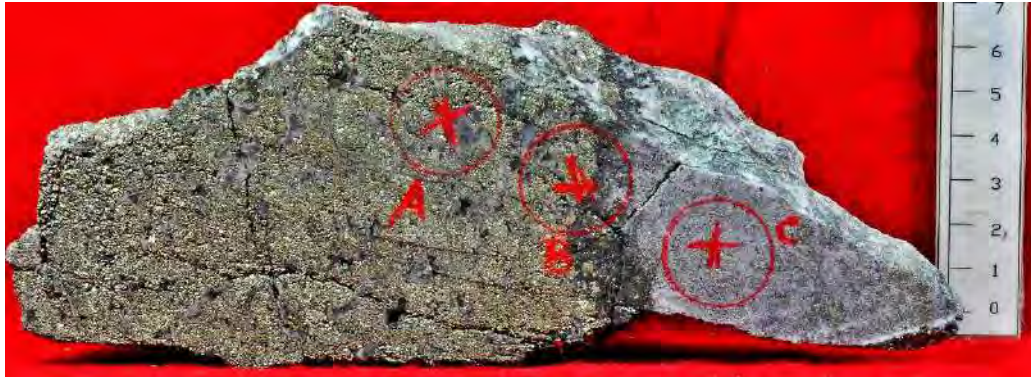


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. En el ribete de esfalerita se ha registrado telurio nativo en contacto con galena y cobres grises, todo en una porosidad de esfalerita.

Gn: galena; sph: esfalerita; CGs: cobres grises, Te: Telurio nativo

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 001-SPC   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN  |                              |  |
| Núcleo de pirita rodeado por un ribete de esfalerita dentro de un cuerpo de reemplazamiento. |                              |  |

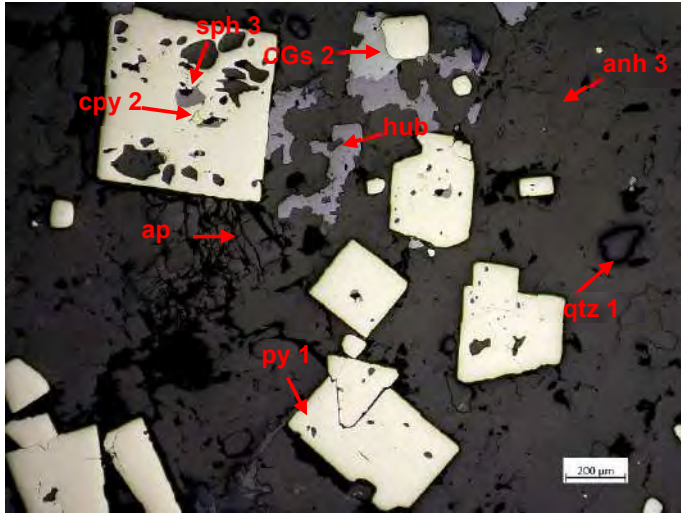


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida C.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |  |   |
|----------------|--|---|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita</p> <p><i>Abundante:</i> pirita, cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> esfalerita, galena, cobres grises, hubnerita, oropimente</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, covelita, oropimente, alkali-oxiapatito</p> | <p>Diseminación de sulfuros (25%) dentro de una matriz (75%) de anhidrita y escasos granos de cuarzo, hubnerita y oxiapatito. La pirita es el principal sulfuro de la sección, y el primero en cristalizar. Se presenta como cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales, en algunos casos intercrecidos y parcialmente reemplazados por calcopirita, esfalerita, y galena a través de intersticios, porosidades y bordes; y, por bornita, digenita y covelita a través de porosidades.</p> <p>La esfalerita se presenta como agregados masivos, de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopirite disease”. Se encuentra parcialmente reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y bordes.</p> <p>La calcopirita (cpy 2) se presenta como un agregado irregular reemplazada parcialmente por cobres grises y galena a través de intersticios y bordes.</p> <p>Los cobres grises se presentan como agregados masivos irregulares con oclusiones de calcopirita y esfalerita; y reemplazados por galena a través de microfracturas, porosidades y bordes.</p> <p>La galena se presenta un como agregado irregular.</p> |

FOTO 1

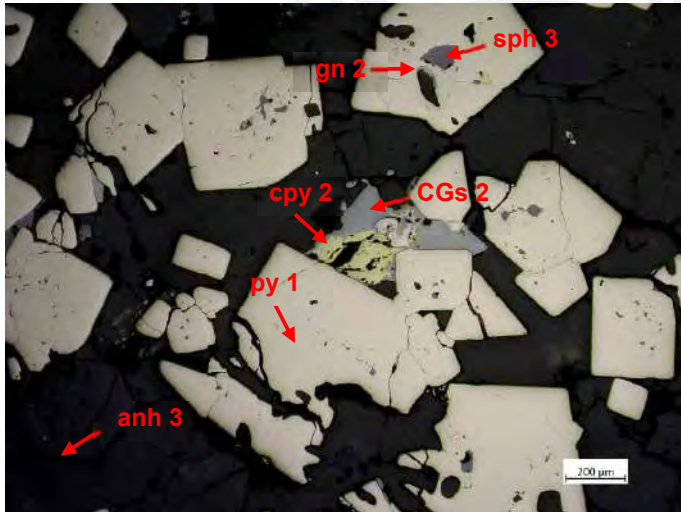


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales euhedrales a subhedrales de pirita, en algunos casos intercrecidos, diseminados en una matriz de anhidrita, cuarzo y hubnerita. Estos cristales han sido reemplazados por esfalerita, calcopirita a través de porosidades; y por cobres grises a través de bordes.

Anh: anhidrita; py: pirita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; hub: hubnerita; ap: alkali-oxiapatito

FOTO 2

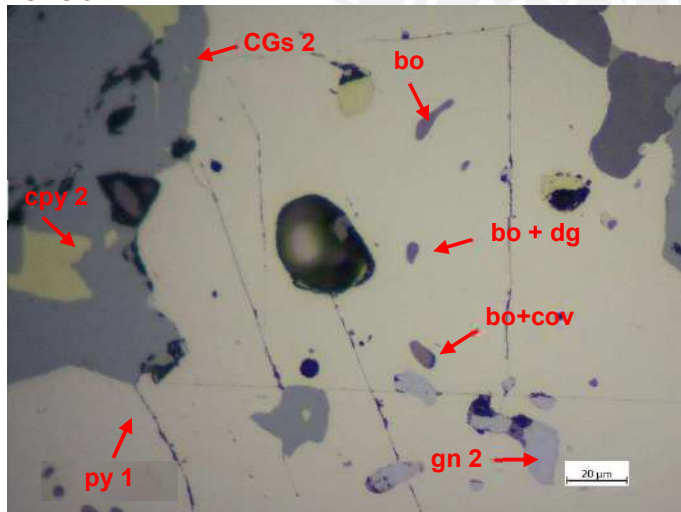


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de pirita euhedrales, subhedrales y anhedrales en algunos casos recrystalizados se encuentran diseminados en una matriz de anhidrita. Estos cristales han sido reemplazados por esfalerita, galena y calcopirita a través de microfracturas, porosidades y desde sus bordes.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita

FOTO 3



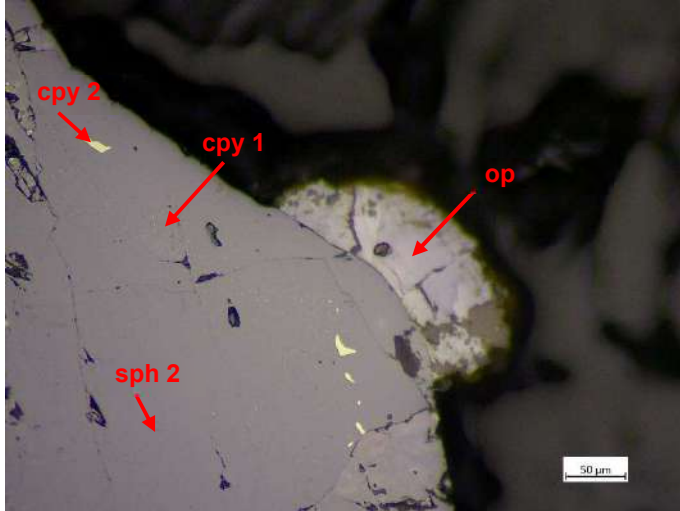
**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita reemplazada por galena, calcopirita, cobres grises, bornita y digenita a través de porosidades. Se observa la relación de reemplazamiento de la bornita por digenita y covelita.

Py: pirita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; bo: bornita; dg: digenita; cov: covelita



**FOTO 4**

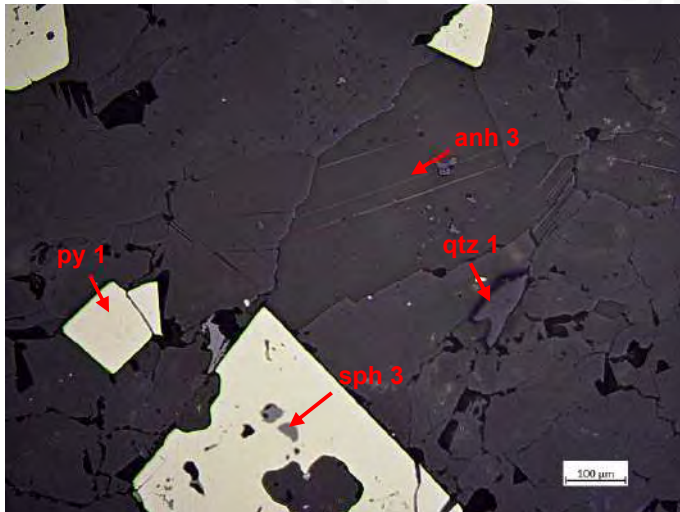


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicóles paralelos. La esfalerita presenta “chalcopirite disease” (cpy1) y escasas diseminaciones de calcopirita (cpy2).

Sph: esfalerita, cpy: calcopirita; op: oropimente

**FOTO 5**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicóles paralelos. Cristales de pirita reemplazada por esfalerita a través de porosidades en una matriz de anhidrita y cuarzo.

Anh: anhidrita, qtz: cuarzo, py: pirita; sph: esfalerita

**FOTO 5**

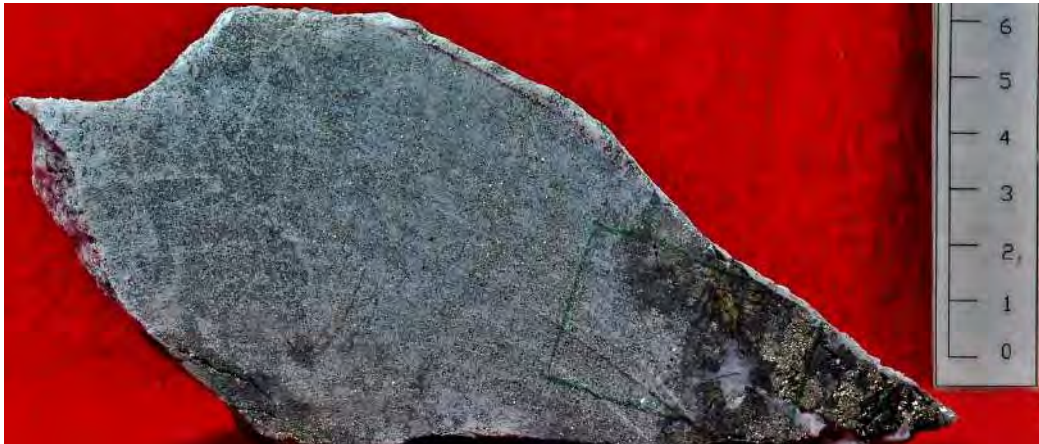


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicóles paralelos. Cristal central de pirita reemplazado totalmente por esfalerita, presentando un remanente de pirita en su interior.

Py: pirita; sph: esfalerita; anh: anhidrita

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 003-LP  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |  |
| Ribete de esfalerita rodea a núcleo de pirita del cuerpo de reemplazamiento. |                              |  |

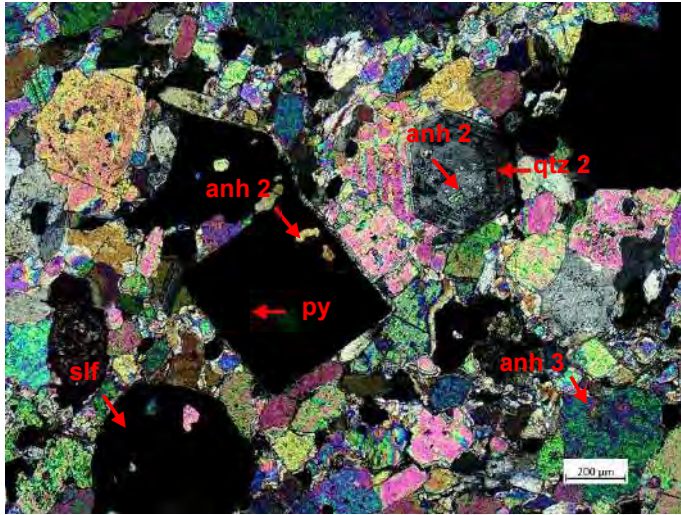


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN           |  |   |
|-----------------------|--|---|
|                       | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita</p> <p><i>Abundante:</i> sulfuros (pirita, esfalerita, otros)</p> <p><i>Escasos:</i> yeso</p> <p><i>Muy escasos:</i> carbonatos</p> | <p>La sección corresponde al contacto entre el cuerpo anhidrita-pirita/sulfuros y el ribete de esfalerita que lo separa del núcleo de pirita.</p> <p>El ribete de esfalerita consiste en esfalerita gruesa y zonada que contiene: remanentes de cristales de euhedrales y subhedrales de pirita, y asociaciones de sulfuros; inclusiones de carbonatos, y en conjunto con los demás sulfuros: relictos de cuarzo (qtz 1) y anhidrita; y, nódulos de anhidrita, y de yeso con relictos de anhidrita, cuarzo, carbonatos y sulfuros. En el borde del ribete se registran cristales anhedrales de cuarzo (qtz 1) entre los que crecieron cristales anhedrales y euhedrales de carbonatos y euhedrales de cuarzo (qtz 2). Dentro del ribete, y en el contacto del ribete con el cuerpo de anh-py/sulf, se ha registrado venillas de yeso con sulfuros.</p> <p>El cuerpo de anh-py/slf consiste en un matriz de anhidrita en la que se encuentran diseminados cristales euhedrales de py, agregados de pirita corroídos por los demás sulfuros y escasos cristales de cuarzo euhedral (qtz 2). La anhidrita se presenta como cristales anhedrales, en algunos casos recristalizados; presenta extinción ondulante, y escasa alteración a carbonatos muy finos a través de intersticios y porosidades. Los sulfuros presentan remanentes de cuarzo (qtz 1) y anhidrita.</p> |

FOTO 1

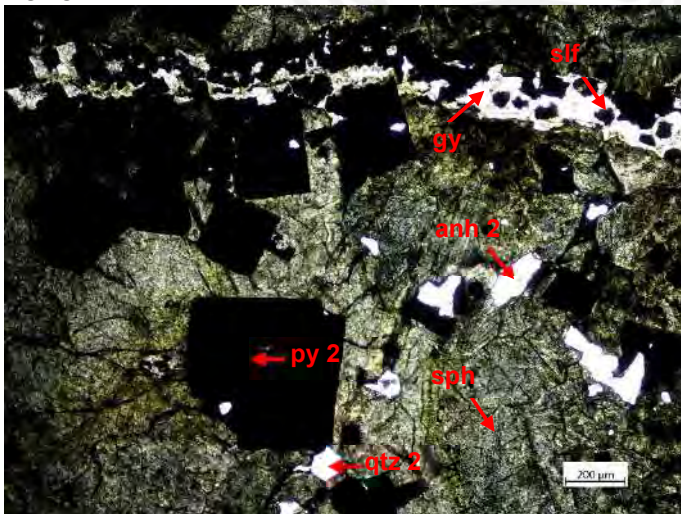


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Sulfuros diseminados en matriz de anhidrita con menor contenido de cuarzo euhedral (qtz 2), ambos con remanentes de anh. El conjunto compone el cuerpo de anh-py/slf.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; py: pirita; slf: sulfuros

FOTO 2

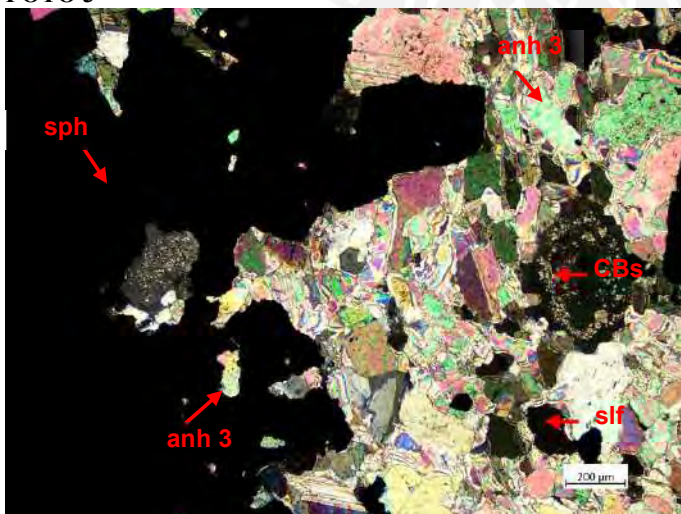


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Interior del ribete de esfalerita se presentan inclusiones de cristales euhedrales de pirita, cuarzo y anhidrita. Una vetilla corta este ribete, presentando sulfuros en su interior.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 3

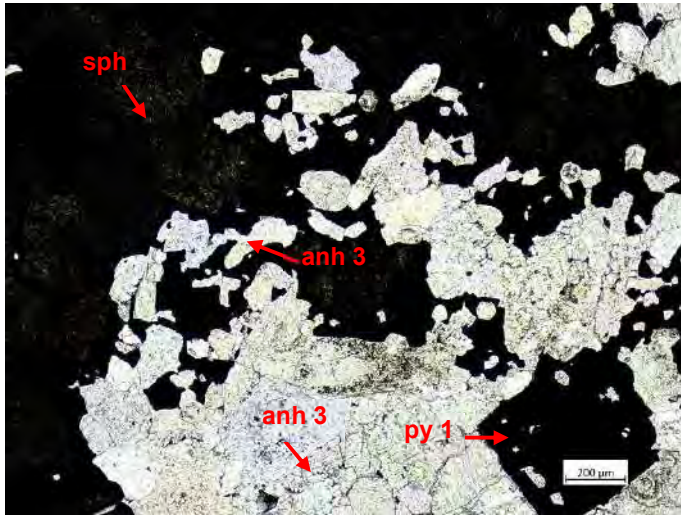


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto entre el ribete de esfalerita y el cuerpo de anh-py/sulf. Se registra la alteración de anhidrita por carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 4

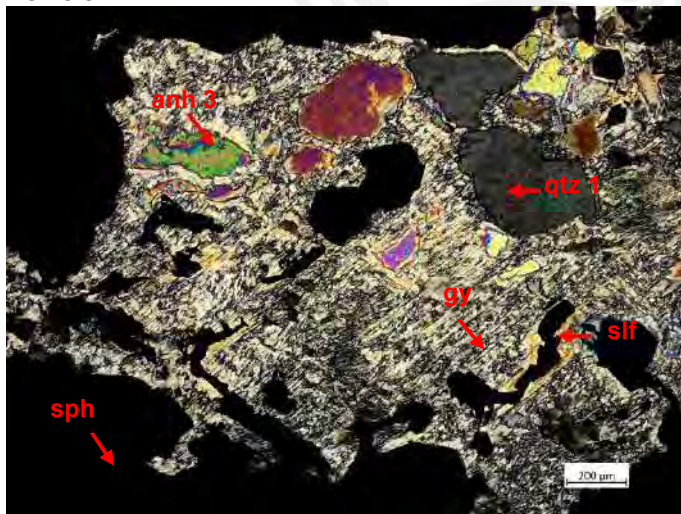


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Contacto entre el ribete de esfalerita y el cuerpo de anh-py/sulf. Se registran sulfuros crecidos entre los intersticios de los cristales de anh, encontrándose como remanentes al interior de estos.

Anh: anhidrita; cb: carbonatos; qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita

FOTO 5

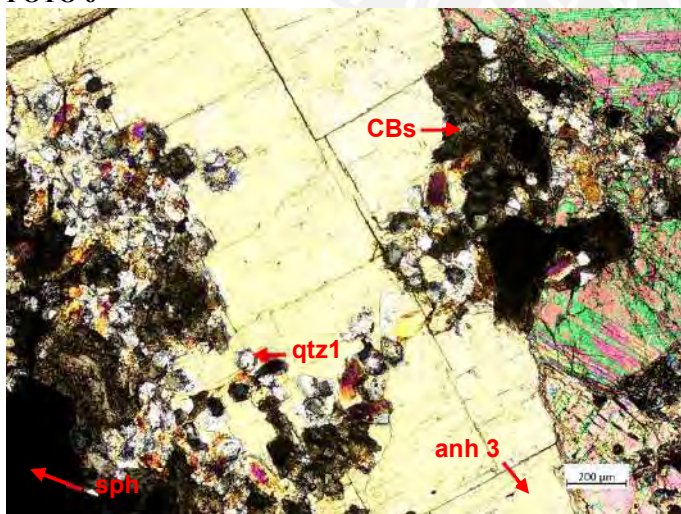


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Nódulo de yeso con remanentes de anhidrita, cuarzo y sulfuros en el interior del ribete de esfalerita.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 6

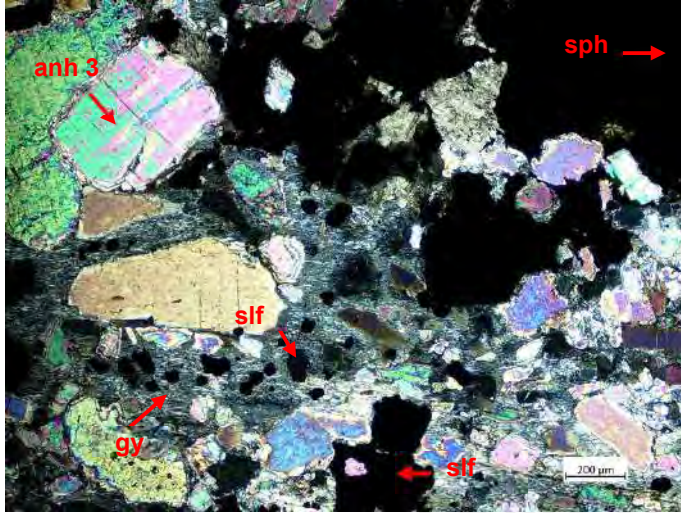


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de cuarzo (qtz 1) y carbonatos sobre los que crece cristales gruesos de anh que componen el nódulo de anhidrita del ribete de esfalerita.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; sph: esfalerita

FOTO 7

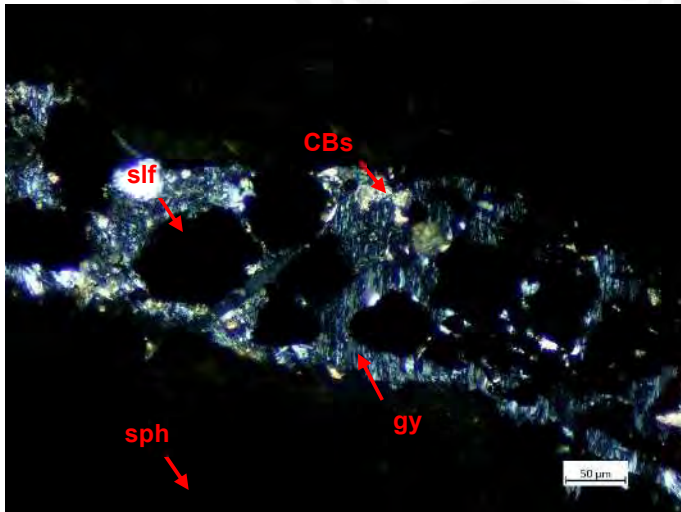


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto entre el ribete de esfalerita y el cuerpo de anh-py/sulf. Se registran sulfuros removilizados dentro de la vetilla de yeso.

Anh: anhidrita; gy: yeso; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 8

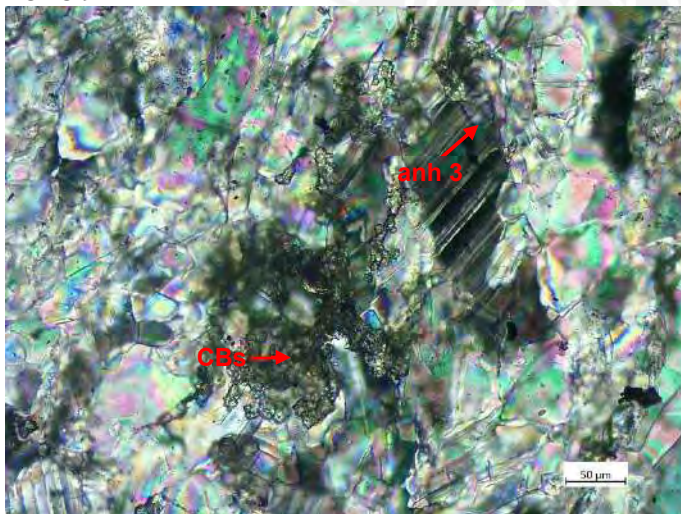


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles cruzados. Vetilla de yeso con cristales de sulfuros y carbonatos en el interior del ribete de esfalerita.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 9



**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles cruzados. En el cuerpo de anh-py/slf se registra la alteración de anhidrita por carbonatos a través de porosidades e intersticios.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos

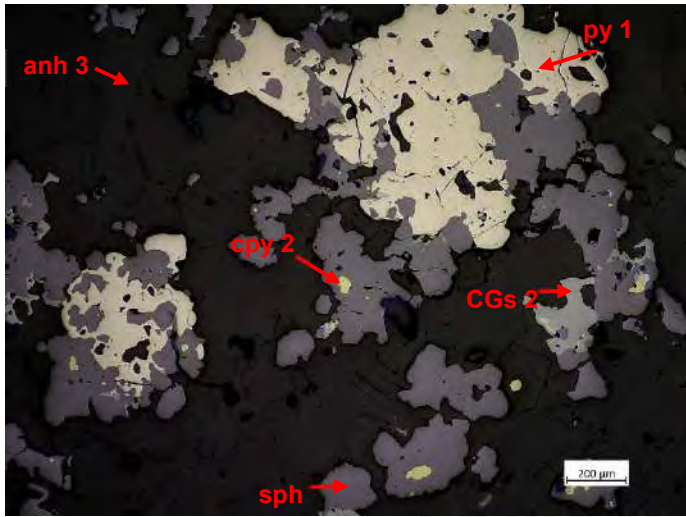
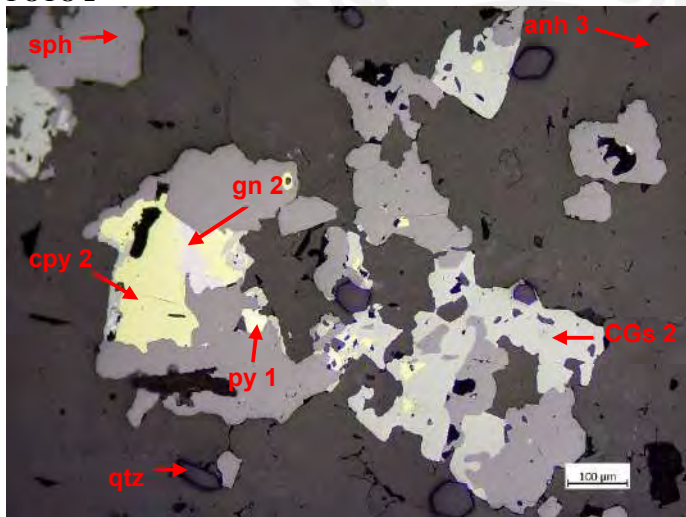
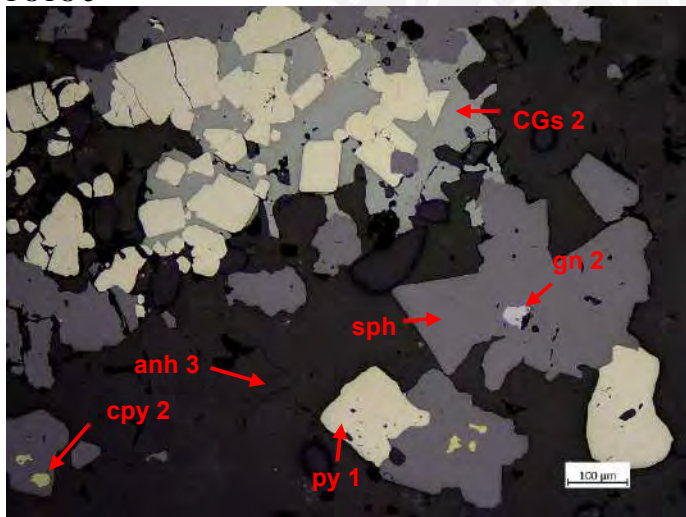
| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 003-SPA   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |  |
| Cuerpo de reemplazamiento de cuarzo y pirita fina, en roca dolomía. Hospeda muestra 001. |                              |  |



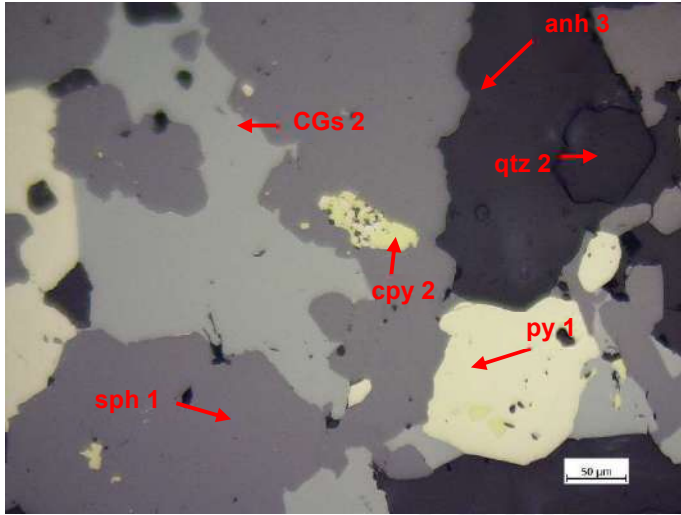
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida A.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita, pirita</p> <p><i>Escasos:</i> cobres grises, calcopirita</p> <p><i>Muy escasos:</i> galena, bornita</p> | <p>Diseminación de sulfuros (40%) en una matriz (60%) de anhidrita y escasos cristales de cuarzo. La pirita se presenta como cristales subhedrales y anhedrales, en algunos casos oquerosos. Este sulfuro ha sido parcialmente reemplazado a través de microfracturas por esfalerita, y por porosidades, bordes e intersticios por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena; y por bornita a través de porosidades. La esfalerita es el sulfuro más abundante de la sección. Se presenta masiva, en intersticios y cavidades de la ganga o reemplazando a la pirita. Se distinguen, por sectores, dos tipos: limpia o con escasas inclusiones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. Siendo la última la más abundante. Este sulfuro ha sido parcialmente reemplazado a través de porosidades, intersticios o bordes por cobres grises, galena y calcopirita. La calcopirita se presenta masiva y reemplazada por cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y bordes. Los cobres grises se presentan masivos, con inclusiones de pirita y calcopirita, y reemplazados por galena a través de porosidades y bordes. La galena se presenta como agregados irregulares con oclusiones de pirita, calcopirita y cobres grises.</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de pirita anhedrales con oquedades diseminados en anhidrita. Los agregados masivos de esfalerita han reemplazado a la pirita y a su vez han sido reemplazados por cobres grises y calcopirita. Las masas irregulares de cobres grises se encuentran reemplazados por galena.</p> <p>Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita</p> |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros crecieron entre los intersticios de los cristales de anhidrita y cuarzo, que forman la matriz.</p> <p>Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; gn: galena</p>  |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales euhedrales y subhedrales de pirita en el interior de los cobres grises. La esfalerita ha reemplazado y adquirido la forma de la pirita. Reemplazamiento de esfalerita por galena y calcopirita.</p> <p>Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; gn: galena</p>   |

**FOTO 4**

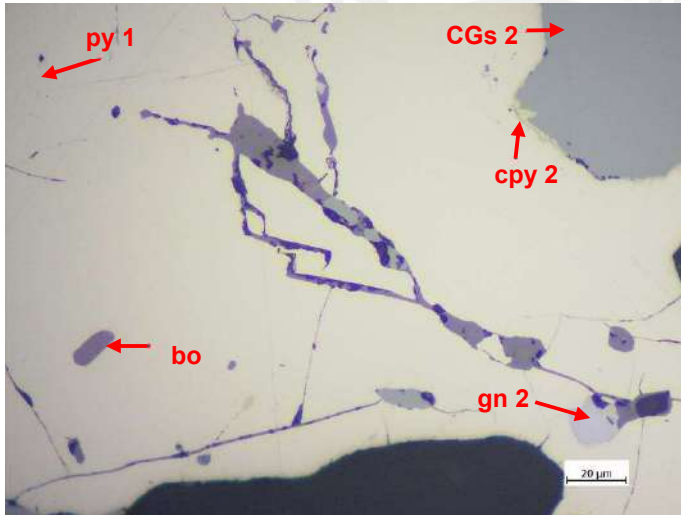


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Los cristales subhedrales de esfalerita han reemplazado a la pirita, y el conjunto, a su vez, ha sido reemplazado por cobres grises y calcopirita. Esta última presenta inclusiones de pirita.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita

**FOTO 5**



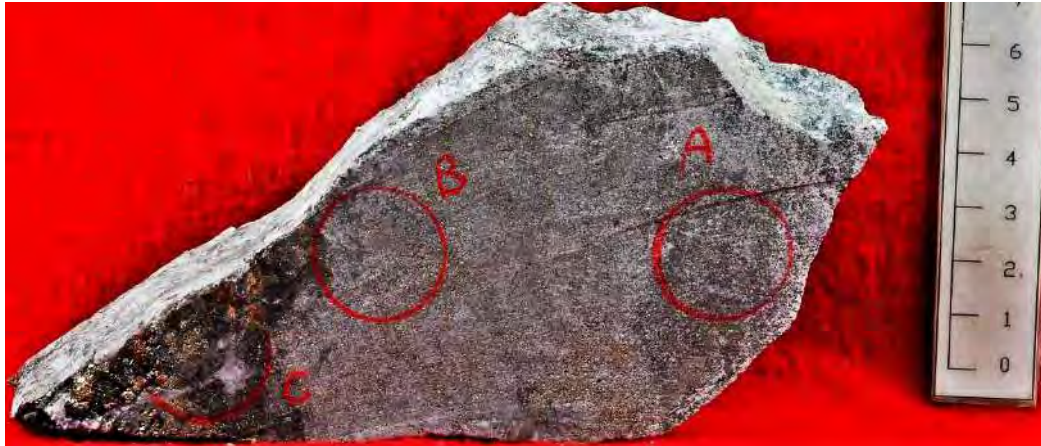
**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita reemplazada por calcopirita desde su borde, y el conjunto reemplazado por cobres grises. Reemplazamiento de pirita a través de microfracturas y porosidades. Inclusiones de bornita en la pirita

Py: pirita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; gn: galena; bo: bornita



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 003-SPB   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN  |                              |  |
| Cuerpo de reemplazamiento de cuarzo y pirita fina, en roca dolomía. Hospeda muestra 001. |                              |  |

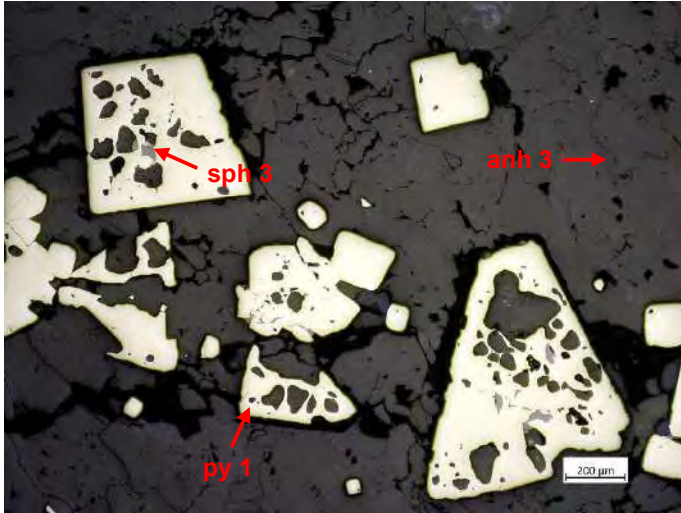


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida **B**.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |   |  |
|-----------------------|---|--|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita</p> <p><i>Abundante:</i> pirita</p> <p><i>Escasos:</i> cobres grises, esfalerita, calcopirita, galena</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita</p> | <p>Amplias playas de una matriz (80%) de anhidrita con escasos granos de cuarzo, y diseminación de sulfuros (20%). La pirita es el sulfuro más abundante de la sección, se presenta como cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales de pirita, en algunos casos cataclásticos, reemplazados por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes; y por bornita y digenita a través de porosidades. La esfalerita se presenta como agregados masivos, de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. Ha sido reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de intersticios, porosidades y bordes. La calcopirita se presenta masiva reemplazada por cobres grises y galena a través de intersticios, porosidades y bordes; y por bornita cuando se presenta como inclusiones en pirita. Los cobres grises se presentan como un agregado masivo, reemplazado parcialmente por galena a través de intersticios, porosidades y bordes. El reemplazamiento de los sulfuros se ha realizado aprovechando el contacto entre minerales y principalmente desde sus bordes.</p> |

FOTO 1

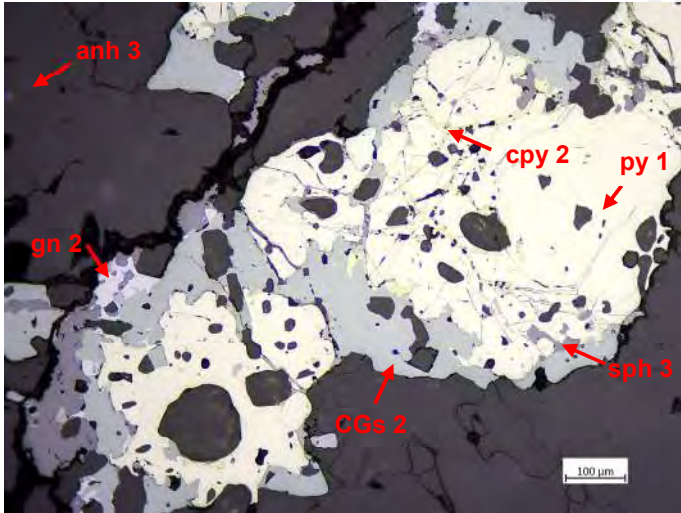


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Diseminación de cristales oquerosos de pirita subhedral y anhedral en una matriz de anhidrita.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita

FOTO 2

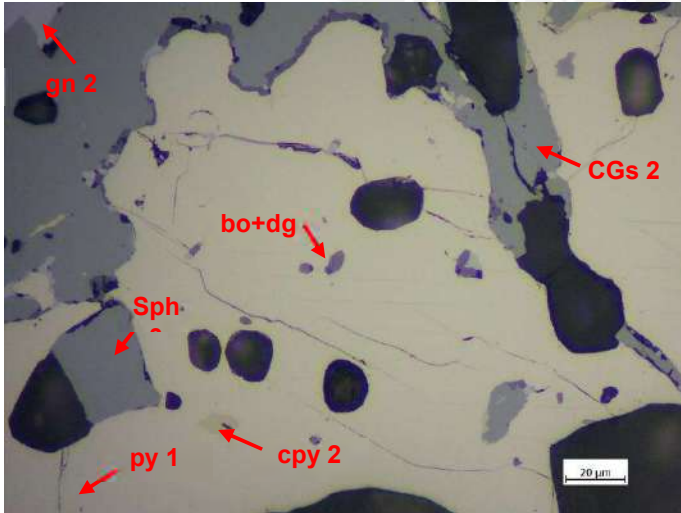


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Grano de pirita reemplazado por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; gn: galena

FOTO 3

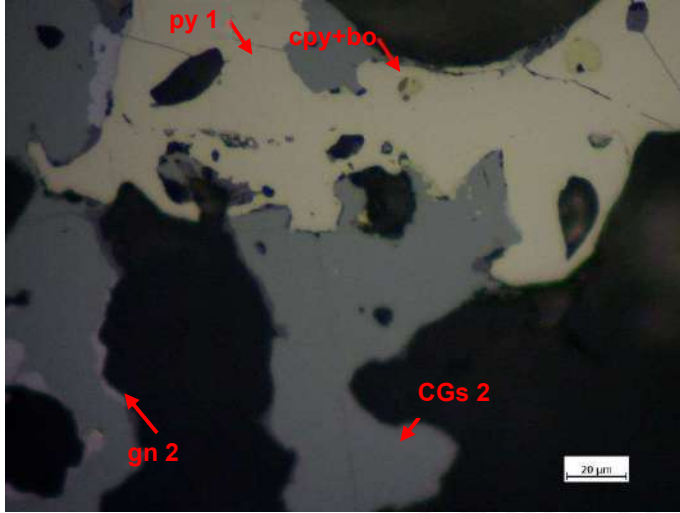


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de bornita y digenita dentro de una pirita reemplazada principalmente a través de bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; gn: galena; bo: bornita; dg: digenita

**FOTO 4**



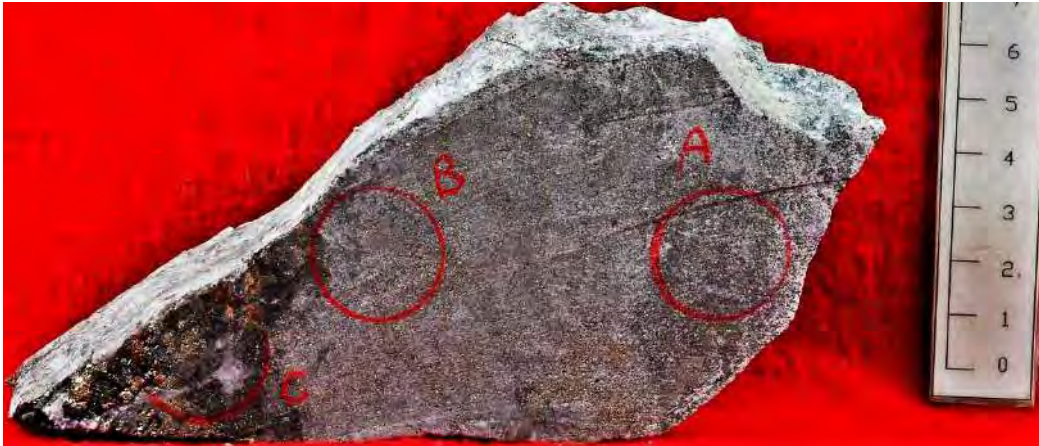
**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusión de calcopirita reemplazada por bornita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; cpy: calcopirita; gn: galena; bo: bornita; dg: digenita



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA                                       |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 003-SPC                                     | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |  |
| Esfalerita rodea núcleo de pirita en cuerpo de reemplazamiento |                              |  |

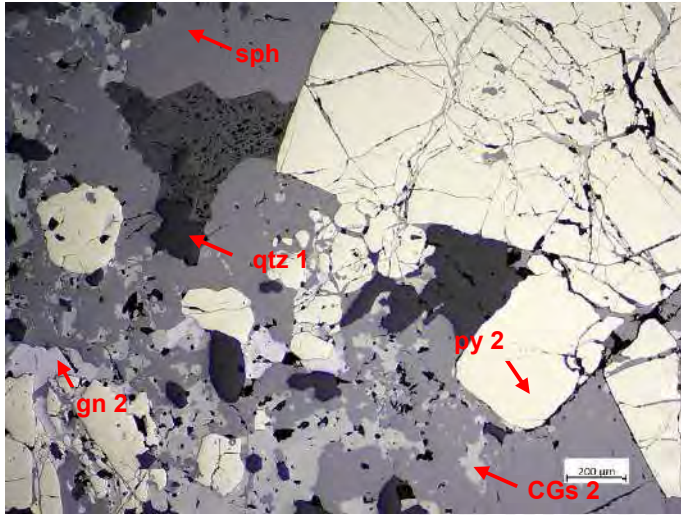


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida C.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |  |  |
|-----------------------|--|--|
|                       | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita, yeso, esfalerita</p> <p><i>Abundante:</i> pirita</p> <p><i>Escasos:</i> cobres grises, calcopirita, galena</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita, estannoidita, vinciennita</p> | <p>Diseminación de sulfuros (70%) en una matriz (30%) de anhidrita, yeso, carbonatos y cuarzo, presentando relictos de cuarzo en su interior. La pirita se presenta como cristales subhedrales y anhedrales, reemplazados por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes; y por bornita, digenita, estannoidita y vinciennita a través de porosidades. La esfalerita es el sulfuro más abundante de la sección, se presenta como agregados masivos, de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. Ha sido reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de intersticios, porosidades y bordes. La calcopirita se presenta masiva reemplazada por cobres grises y galena a través de intersticios, porosidades y bordes; y por bornita, digenita y vinciennita cuando se presenta como inclusiones en pirita. Los cobres grises se presentan como agregados masivos, tal que se reconoce por lo menos dos tipos. Se presenta reemplazado parcialmente por galena a través de intersticios, porosidades y bordes. La galena se presenta como un agregado irregular.</p> |

**FOTO 1**

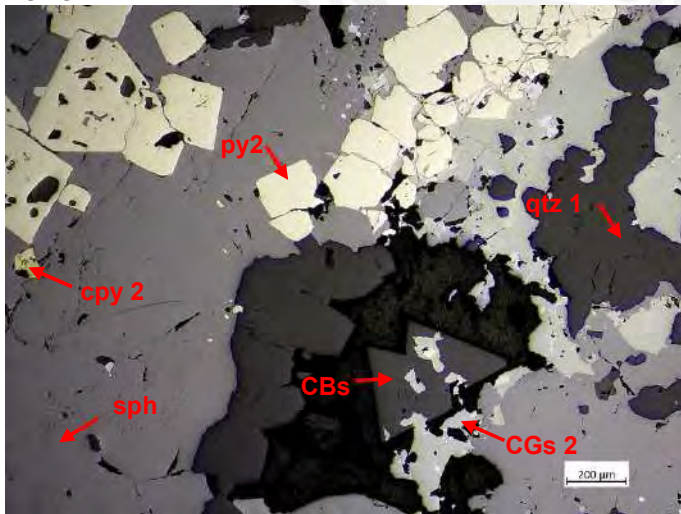


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Pirita fracturada, cuyos espacios han sido rellenados por cobres grises, esfalerita y galena. Bordes de pirita e intersticios reemplazados por esfalerita y galena. La esfalerita es, a su vez, reemplazada por galena a través de porosidades, bordes e intersticios.

Qtz: cuarzo; gy: py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena

**FOTO 2**

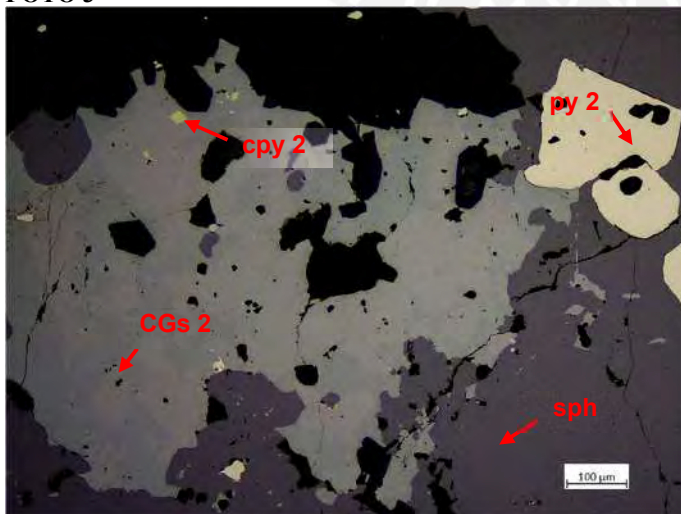


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Sulfuros intercrecidos entre granos de cuarzo. Cristales de carbonatos con relictos de cobres grises con oclusiones de pirita.

Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises

**FOTO 3**

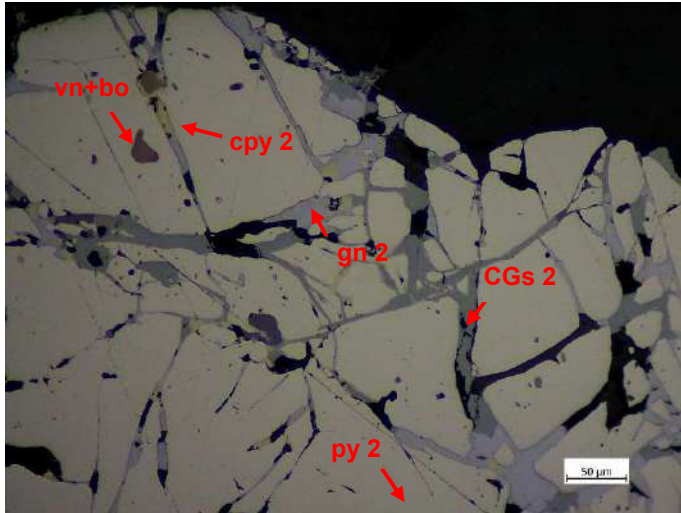


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicols paralelos. Dos tipos de cobres grises.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises

FOTO 4

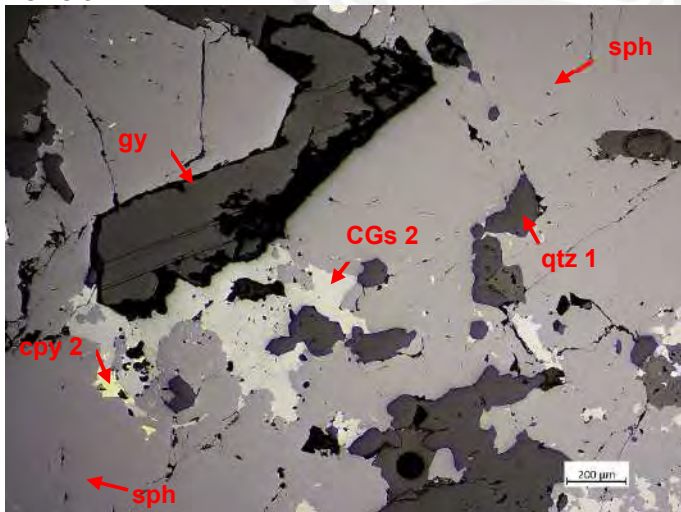


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita microfracturada. Se distingue inclusiones de vinciennita y bornita.

Py: pirita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita; vn: vinciennita

FOTO 5

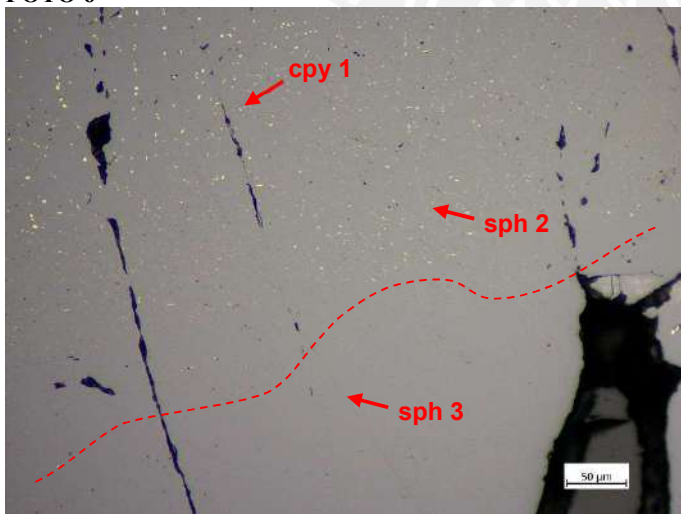


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de esfalerita por cobres grises desde los bordes y contacto con cristal de yeso.

Anh: anhidrita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises

FOTO 6

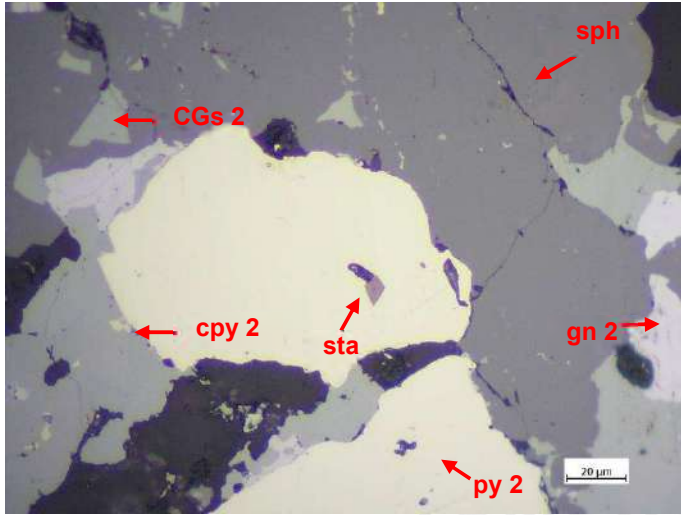


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Transición continua entre la esfalerita limpia (debajo de línea punteada) y la esfalerita con "chalcopirite disease" (arriba de línea punteada).

Qtz: cuarzo; gy: yeso; CBs: carbonatos; py: pirita.

FOTO 7



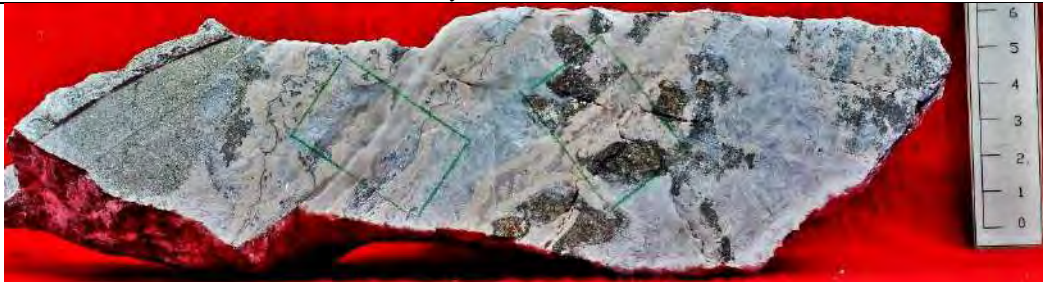
**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicols paralelos. Inclusiones de estannoidita en cristal de pirita reemplazada por esfalerita, cobres grises y galena

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; sta: estannoidita



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |   |
|---|-----------------------|---|
| Referencia: 004-LPA   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                       |   |
| Núcleo de la veta de anhidrita con esfalerita y carbonatos rosados. |                       |   |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

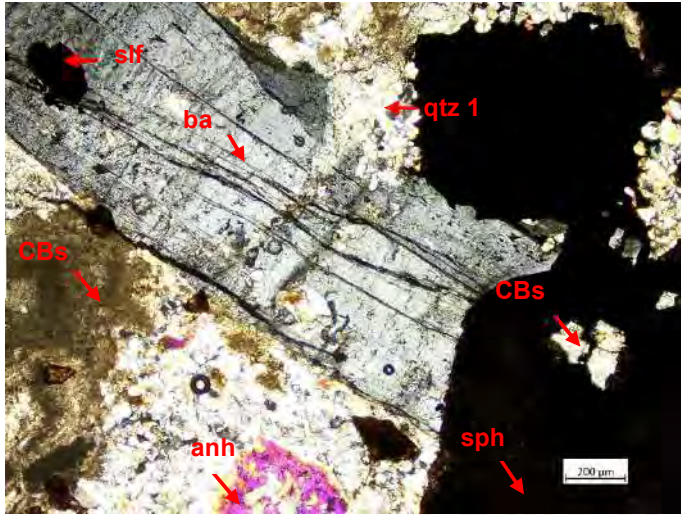
*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos, dolomita, cuarzo</p> <p><i>Abundante:</i> anhidrita, esfalerita, sulfuros</p> <p><i>Escasos:</i> baritina</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección se compone de una asociación de cuarzo, anhidrita, baritina y sulfuros cortados por vetillas de carbonato tardío. Los cristales de cuarzo anhedral son los primeros que cristalizan, seguidos de los cristales anhedrales de anhidrita y tabulares a aciculares de baritina, tal que se registran remanentes de cuarzo y anhidrita en el interior de ambos. Continuando en la secuencia, cristalizan los sulfuros, estos crecen entre los intersticios del cuarzo y la anhidrita. A continuación, cristalizan los carbonatos. Los carbonatos, que en cierta proporción son cristales euhedrales a subhedrales de hábito rómbico típico de dolomita, crecen a través de los intersticios de los otros minerales, remplazándolos parcialmente. Los minerales translúcidos, en conjunto, presentan extinción ondulante. Finalmente, vetillas de yeso cortan y reemplazan el conjunto.</p> |

| FOTO 1 |  |
|--------|--|
|        | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales anhedrales de esfalerita con relictos de cuarzo (qtz 1), al contacto con la vetilla de carbonatos (dolomita) y cortada por una vetilla de yeso posterior.</p> <p>Qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; dol: dolomita</p> |



FOTO 2

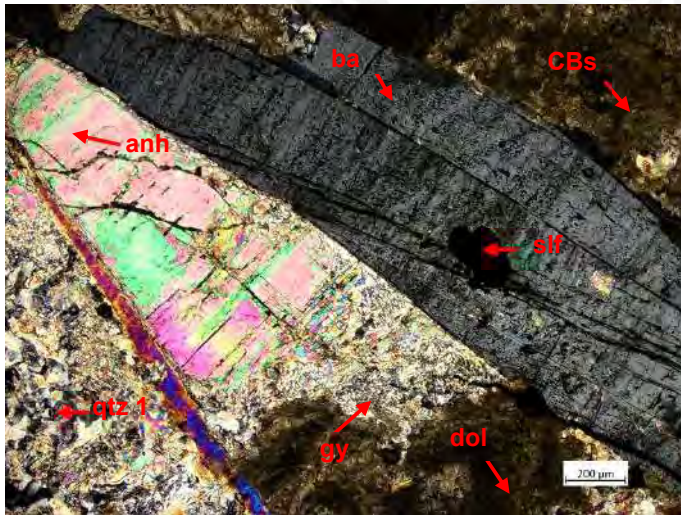


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Sulfuros, anhidrita y carbonatos crecieron en intersticios de cuarzo (qtz 1), presentando relictos de estos en su interior.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; sph: esfalerita; ba: baritina

FOTO 3

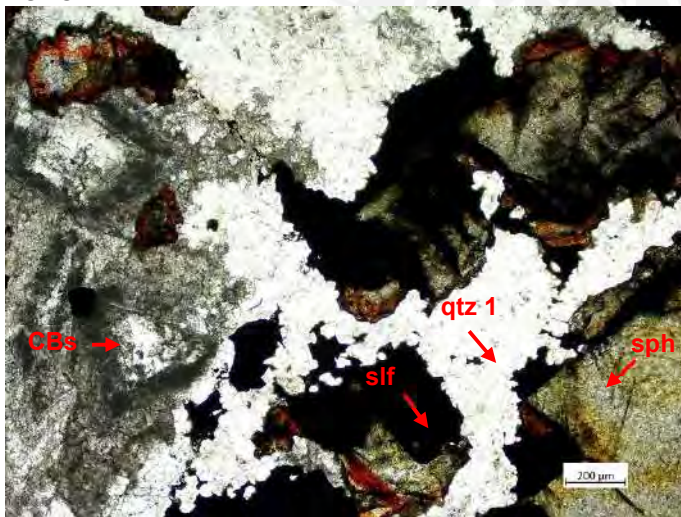


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristal de sulfuro al interior del cristal tabular de baritina. Reemplazamiento de la anhidrita por carbonatos, y alteración de anhidrita, cuarzo y carbonatos a yeso?.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; dol: dolomita; ba: baritina

FOTO 4

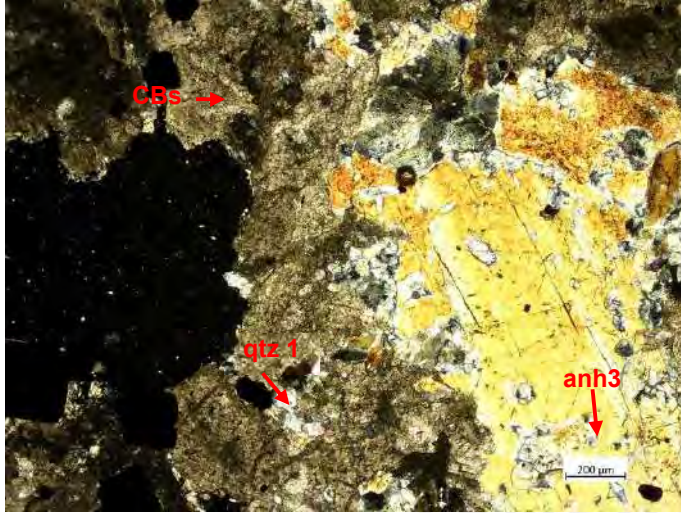


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de sulfuros intercrecidos entre cristales de cuarzo.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; CBs: carbonatos

FOTO 5

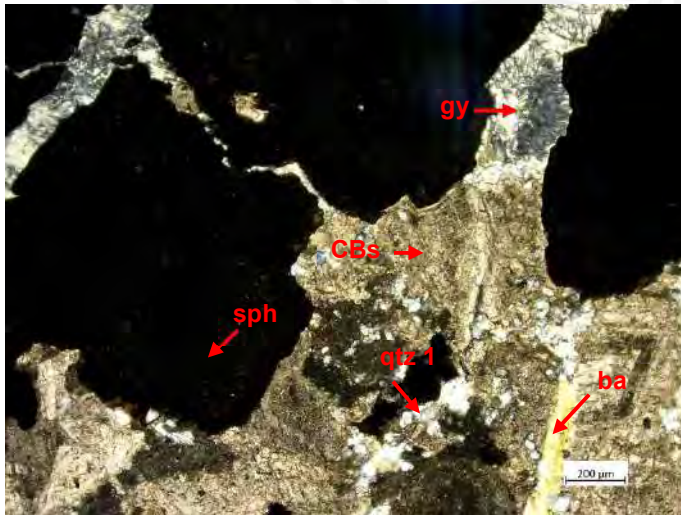


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de anhidrita con remanente de cuarzo, y reemplazada por carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; sph: esfalerita; ba: baritina

FOTO 6

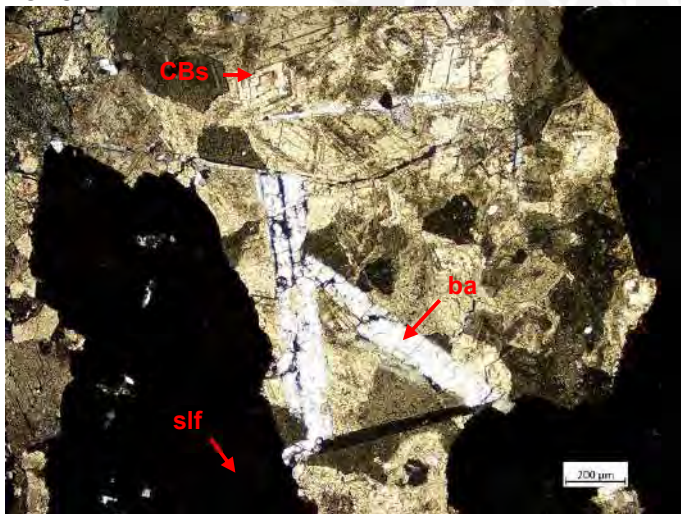


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de carbonatos con relictos de cuarzo.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; dol: dolomita; ba: baritina

FOTO 7

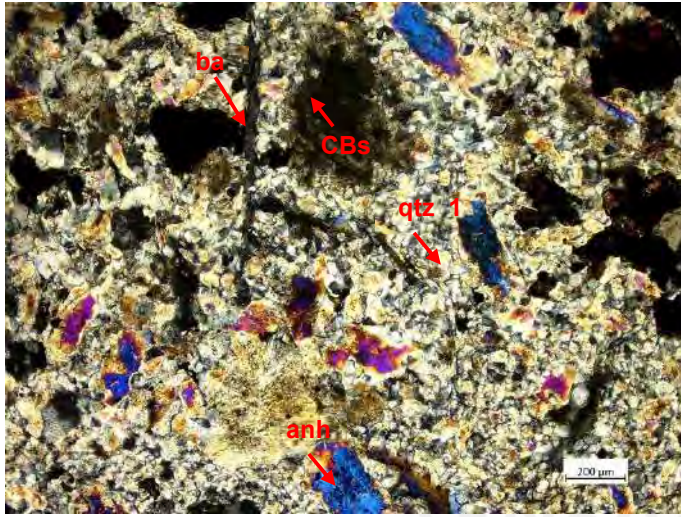


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de baritina en matriz de carbonatos.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; dol: dolomita

**FOTO 8**



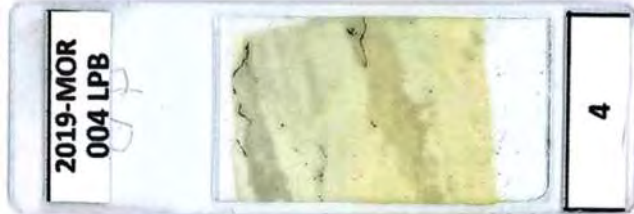
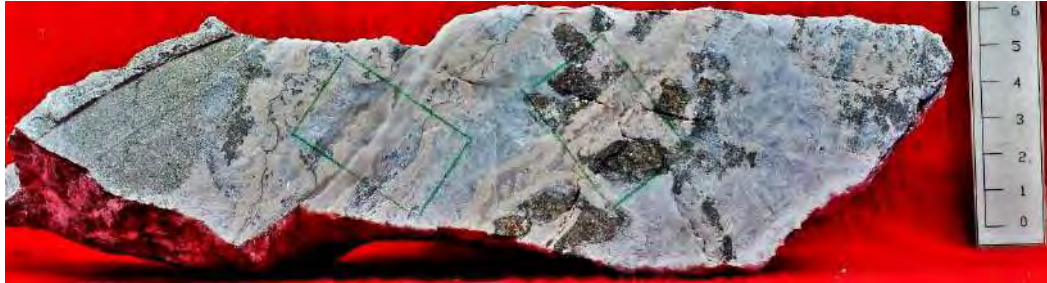
**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada. Matriz de cuarzo, anhidrita, baritina y carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; sph: esfalerita; ba: baritina



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |   |
|---|-----------------------|---|
| Referencia: 004-LPB   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                       |   |
| Núcleo de la veta de anhidrita con esfalerita y carbonatos rosados. |                       |   |



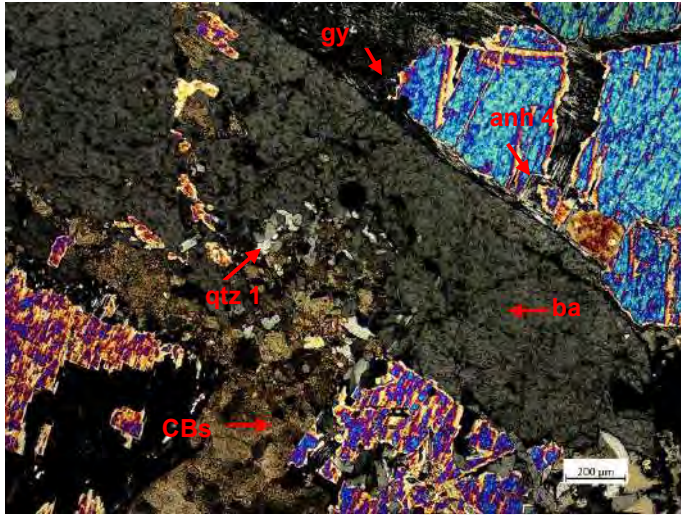
**Arriba:** Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

**Izquierda:** Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |   |
|----------------|--|---|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos, anhidrita</p> <p><i>Abundante:</i> yeso</p> <p><i>Escasos:</i> plagioclasa, baritina</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>Vetilla con textura bandeada, en secuencia: una vetilla de anhidrita inicial, cortada por una vetilla de carbonatos y finalmente, en el centro, una vetilla final de yeso. La vetilla de anhidrita está formada por cristales tabulares gruesos de anhidrita, intercrecidos con escaso cristales de plagioclasa y baritina. Dentro de las vetillas de carbonatos fino se encuentran remanentes de anhidrita, además se registran vetas de carbonatos de mayor granulometría posterior que han empleado los contactos entre las vetas para ingresar. Finalmente se registra un contacto recto entre la veta de carbonato y la veta de yeso. Dentro de esta veta, se encuentran remanentes de anhidrita.</p> |

| FOTO 1 | Comentarios:   |
|--------|--|
|        | <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Veta de anhidrita, compuesta por cristales anhedrales gruesos de anhidrita con escaso contenido de plagioclasa, en cuyo interior se encuentra relicto de anhidrita.</p> <p>Anh: anhidrita, plg: plagioclasa</p> |

FOTO 2

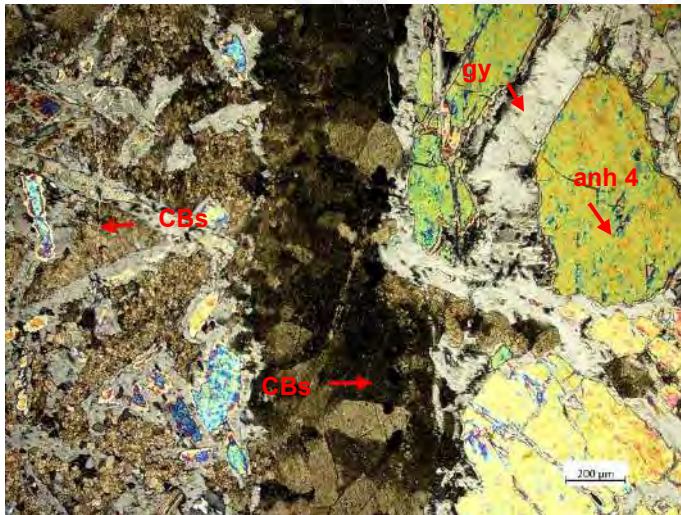


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Veta de anhidrita con presencia de baritina con relictos de cuarzo

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; ba: baritina; gy: yeso

FOTO 3

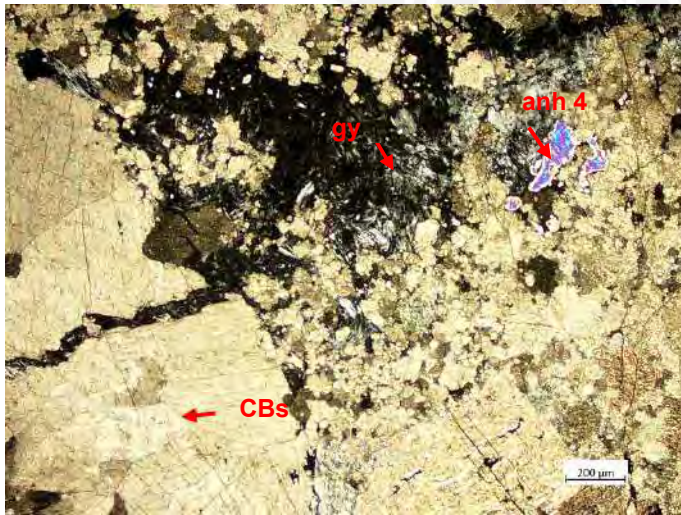


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto entre la veta de anhidrita alterada a yeso (derecha) y la veta de carbonatos con relictos de anhidrita, cortada por veta de carbonatos grueso posterior.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso

FOTO 4

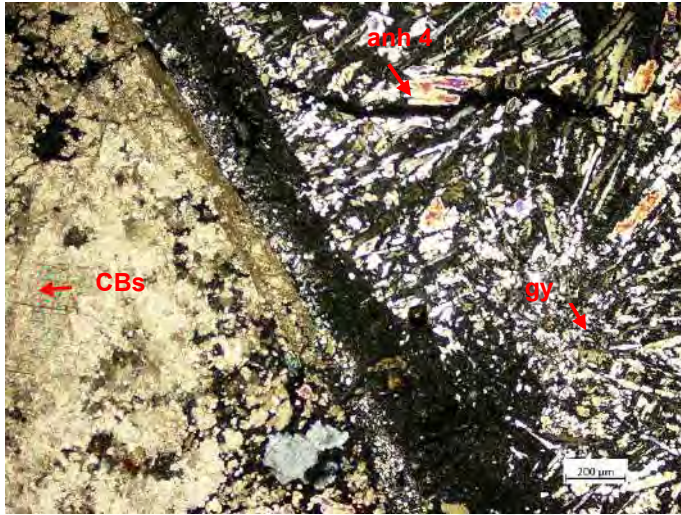


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Interior de la veta de carbonatos se encuentran relictos de anhidrita, y reemplazamiento por yeso a través de intersticios y porosidades.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso

**FOTO 5**

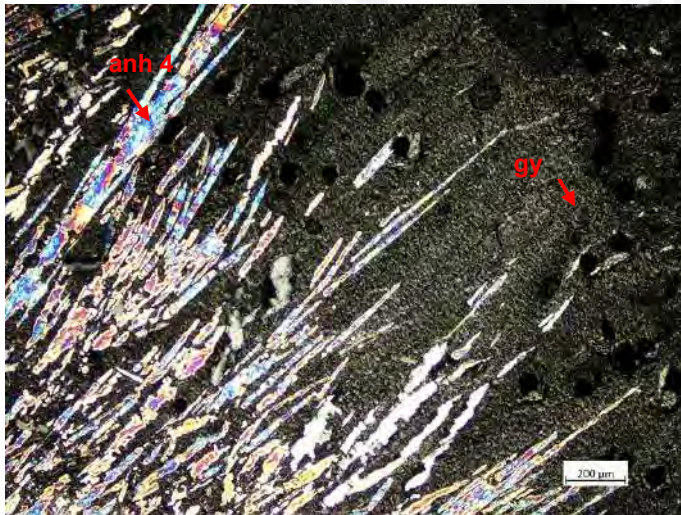


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto de la veta de carbonatos y la veta central de yeso.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; ba: baritina; gy: yeso

**FOTO 6**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Interior de la veta de yeso, con presencia de relictos de anhidrita.

Anh: anhidrita; gy: yeso

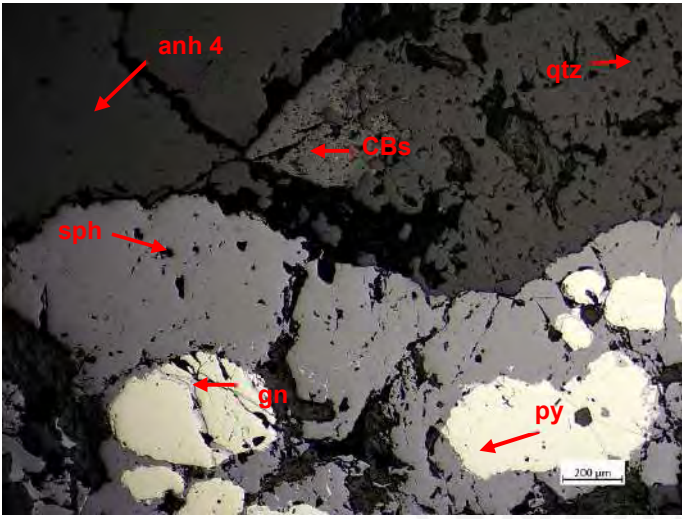
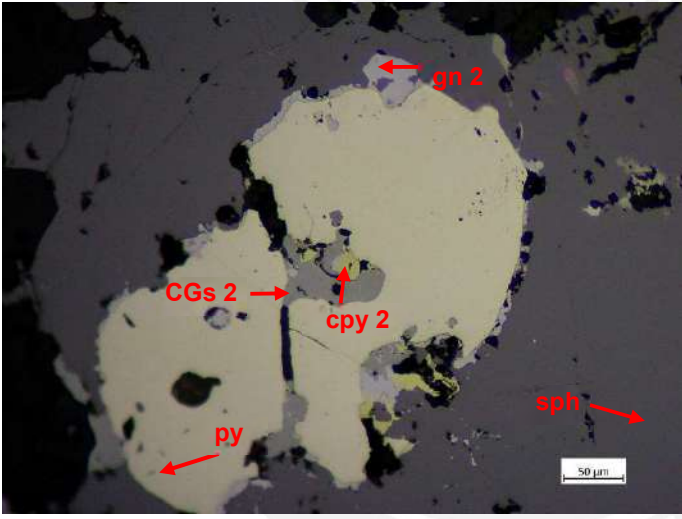
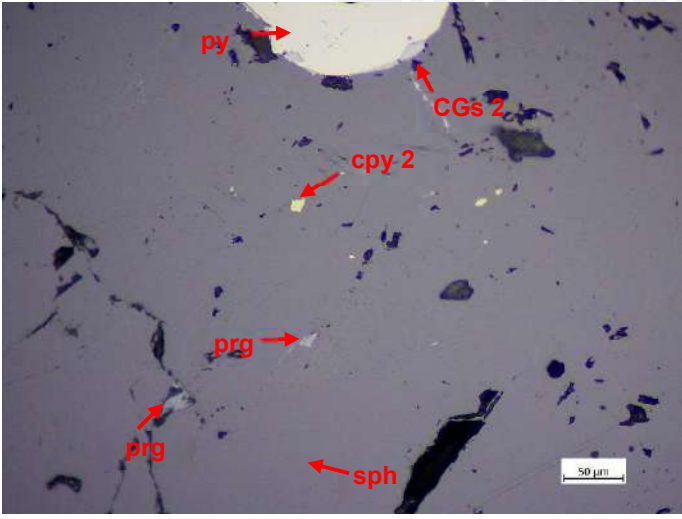
| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |   |
|---|-----------------------|---|
| Referencia: 004-SPA   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN   |                       |   |
| Núcleo de la veta de anhidrita con esfalerita y carbonatos rosados. |                       |   |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida A.

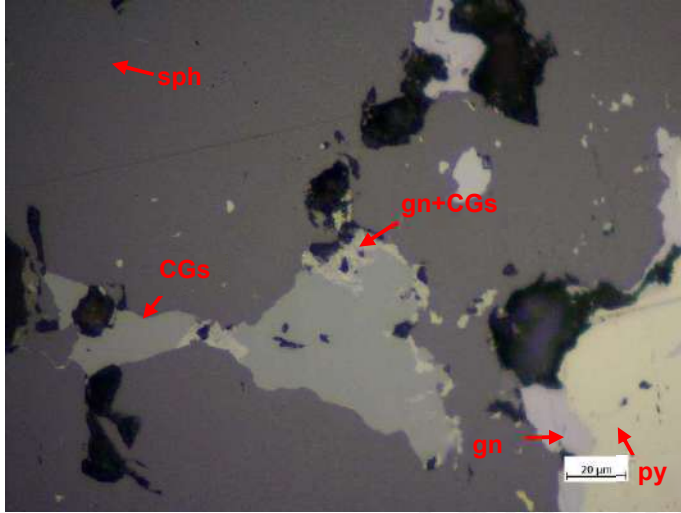
*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | Muy abundante: carbonatos, anhidrita y cuarzo<br>Abundante: esfalerita, pirita<br>Escasos: galena, cobres grises, calcopirita<br>Muy escasos: bornita, digenita, hessita, pirargirita | Matriz (60%) de anhidrita, carbonatos y cuarzo en los que se encuentran diseminados sulfuros (40%), entre los principales: pirita, esfalerita, galena y cobres grises. La pirita se presenta como cristales anhedrales parcialmente reemplazados a través de microfracturas por esfalerita y galena; e intersticios, porosidades y bordes por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena; y por bornita y digenita a través de porosidades. La esfalerita es el sulfuro más abundante de la sección, se presenta como un agregado masivo, en algunos casos intercrecidos con cuarzo, y en parte reemplazada a través de microfracturas por galena, y a través de intersticios, porosidades y bordes por calcopirita, cobres grises y galena; y a través de porosidades por pirargirita. La calcopirita se presenta masiva reemplazada por intersticios y bordes por cobres grises y galena. Los cobres grises se presentan masivos reemplazados por galena. Finalmente, la galena se presenta como un agregado masivo. |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Matriz de anhidrita, carbonatos y cuarzo en el que se encuentran diseminados esfalerita, pirita, galena, entre otros.</p> <p>Amh: anhidrita, CBs: carbonatos, qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena</p> |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicols paralelos. Pirita reemplazada por esfalerita, galena, cobres grises y galena, a través de microfracturas, porosidades y bordes.</p> <p>Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p>         |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicols paralelos. Inclusiones de pirargirita en esfalerita.</p> <p>Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; prg: pirargirita</p>  |



**FOTO 4**

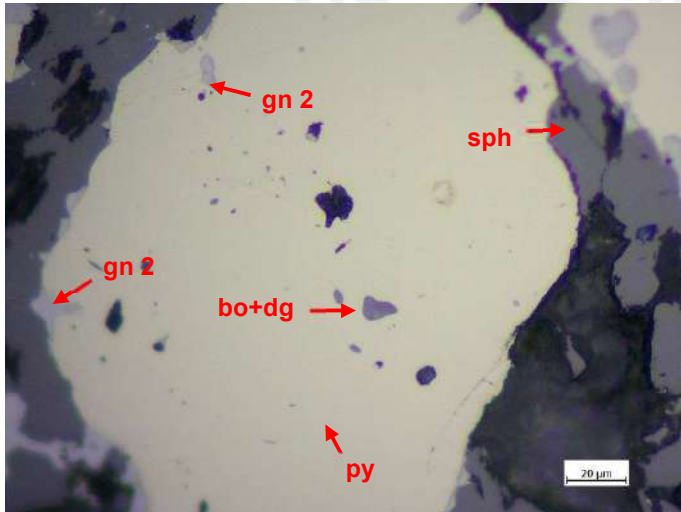


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Intercrecimiento mirmequítico entre galena y cobres grises.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; xx

**FOTO 5**

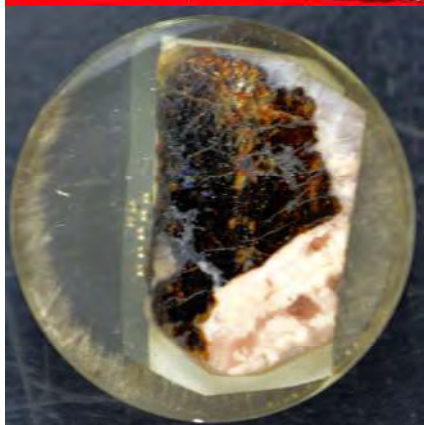


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de bornita y digenita en grano de pirita.

Py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena; bo: bornita; dg:digenita

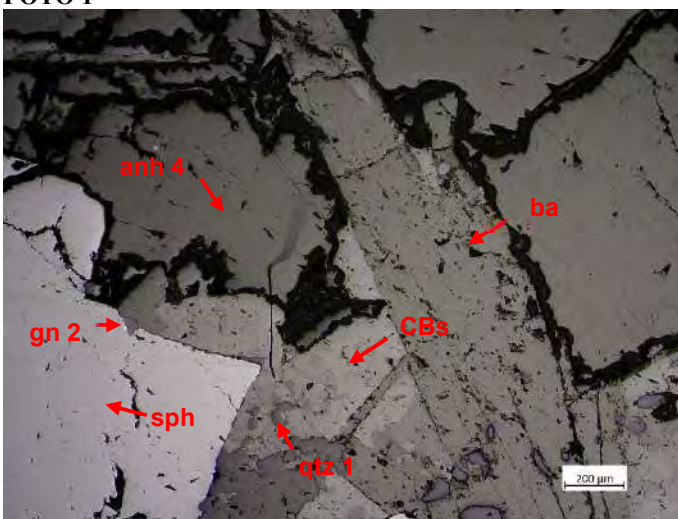
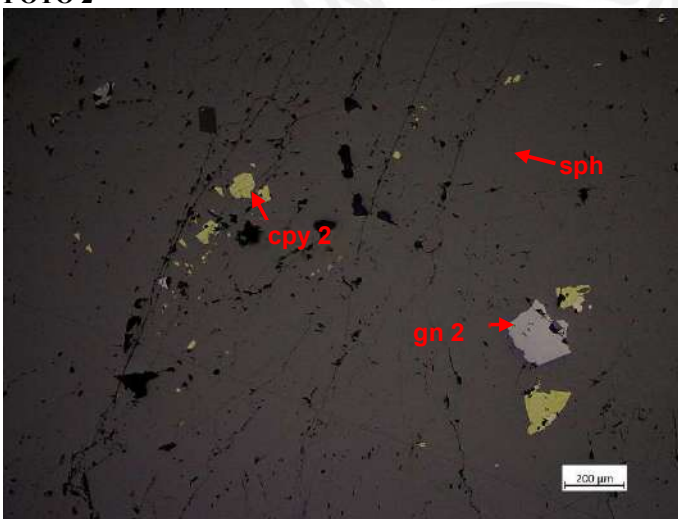
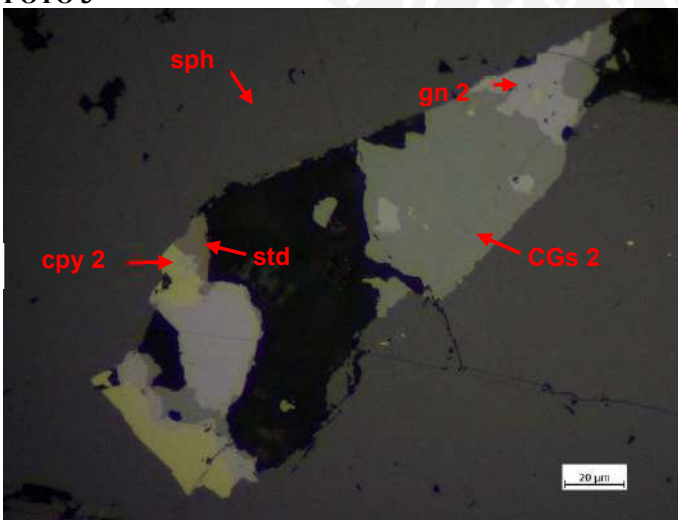
| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |   |
|---|-----------------------|---|
| Referencia: 004-SPB   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN   |                       |   |
| Núcleo de la veta de anhidrita con esfalerita y carbonatos rosados. |                       |   |

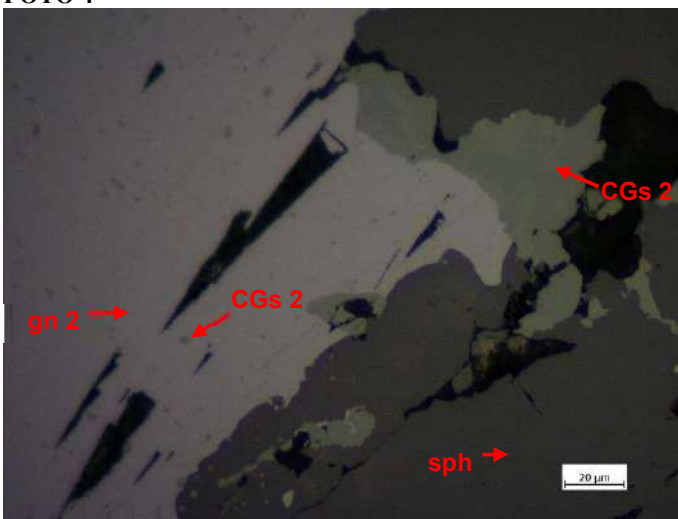
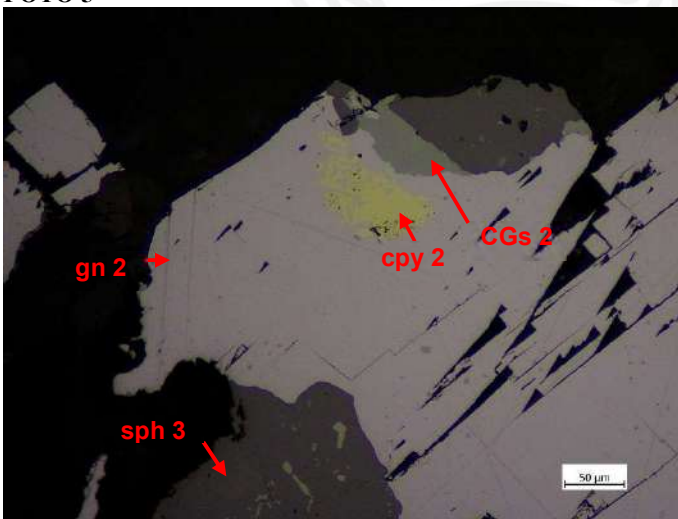
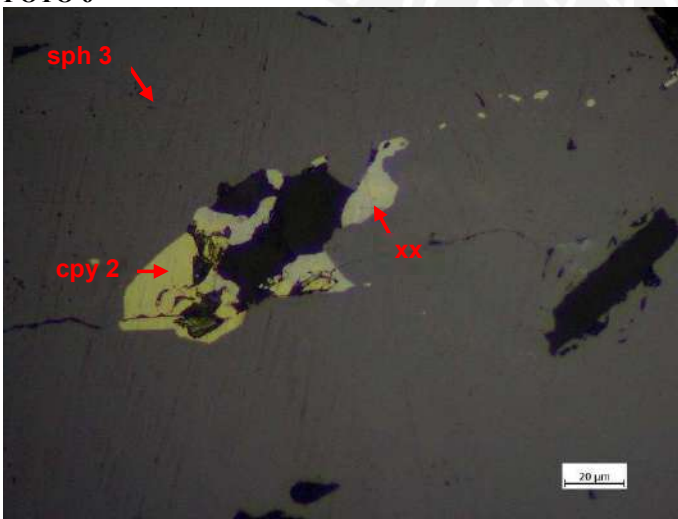


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida **B**.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> esfalerita</p> <p><i>Abundante:</i> carbonatos, yeso/anhidrita, cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> galena, cobres grises, calcopirita, barita</p> <p><i>Muy escasos:</i> estannoidita</p> | <p>La sección consiste principalmente de amplias playas de esfalerita (75%) dentro de una matriz (25%) de carbonatos, yeso/anhidrita, cuarzo y barita.</p> <p>La esfalerita se presenta como un agregado masivo irregular, de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, o con “chalcopirite disease”. Este sulfuro presenta oclusiones de pirita, y ha sido reemplazado a través de porosidades por calcopirita, cobres grises y galena; y por galena y cobres grises a través de bordes. El reemplazamiento de calcopirita por galena ha dejado una textura mirmequítica.</p> <p>La calcopirita se presenta como un agregado irregular que ha sido reemplazado por cobres grises, galena y estannoidita, a través de bordes e intersticios. Se reconocen al menos dos tipos de cobres grises, a su vez reemplazados por galena.</p> <p>La galena se presenta como un agregado masivo irregular con diseminaciones de cobres grises.</p> |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Contacto de playa de esfalerita con matriz de anhidrita/yeso, carbonatos, cuarzo y barita.</p> <p>Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; gn: galena</p>  |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Playa de esfalerita reemplazada por calcopirita y galena a través de porosidades.</p> <p>Sph: esfalerita; cpy: calcopirita; gn: galena</p>   |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de esfalerita a través de porosidad. La calcopirita es el primer mineral que reemplaza a la esfalerita, esta a su vez es reemplazada por cobres grises, galena y estannoidita. Los cobres grises son reemplazados por galena.</p> <p>Sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; std: estannoidita</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 4</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicols paralelos. Al menos dos tipos de cobres grises reemplazados por galena, la cual a su vez posee disseminaciones de cobres grises en su interior.</p> <p>Sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena</p> |
| <p><b>FOTO 5</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada. Textura mirmequítica entre la calcopirita y la galena a nicols paralelos.</p> <p>Sph: esfalerita; cpy: calcopirita</p>   |
| <p><b>FOTO 6</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicols paralelos.</p> <p>Qtz: cuarzo; gy: yeso; CBs: carbonatos; py: pirita; xx: mineral no identificado.</p>   |

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                              |  |
|---|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 004-SPC  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN   |                              |  |
| Núcleo de la veta de anhidrita con esfalerita y carbonatos rosados. |                              |  |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.



| COMPOSICIÓN           |   |  |
|-----------------------|---|--|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p>Muy abundante: carbonato, anhidrita/yeso, cuarzo</p> <p>Abundante: pirita, esfalerita</p> <p>Escasos: galena, cobres grises, calcopirita</p> <p>Muy escasos: bornita</p> | <p>La sección consiste en una matriz (70%) de carbonato, anhidrita/yeso, cuarzo en la cual se encuentran sulfuros diseminados (30%) siendo los principales pirita y esfalerita. Los granos de pirita son euhedrales, subhedrales y anhedrales; reconociéndose dos granulometrias distintas. Se encuentran, en algunos casos, oquerosos, intercrecidos y parcialmente reemplazados por esfalerita, cobres grises y galena a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes; y por calcopirita, bornita y digenita a través de porosidades. La esfalerita se presenta como un agregado masivo de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. Ambas han sido reemplazadas por cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y microfracturas; y por calcopirita a través de porosidades. La calcopirita se encuentra en algunos casos reemplazadas por bornita. Los cobres grises se presentan como agregados masivos reemplazados por galena a través de intersticios, porosidades y bordes.</p> |

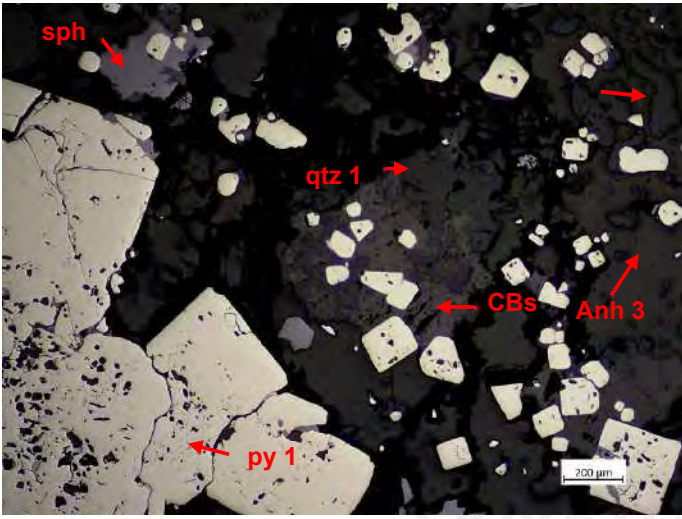
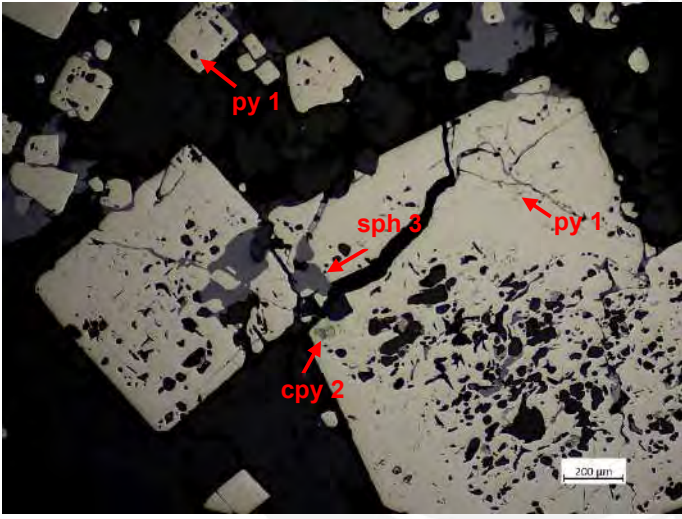
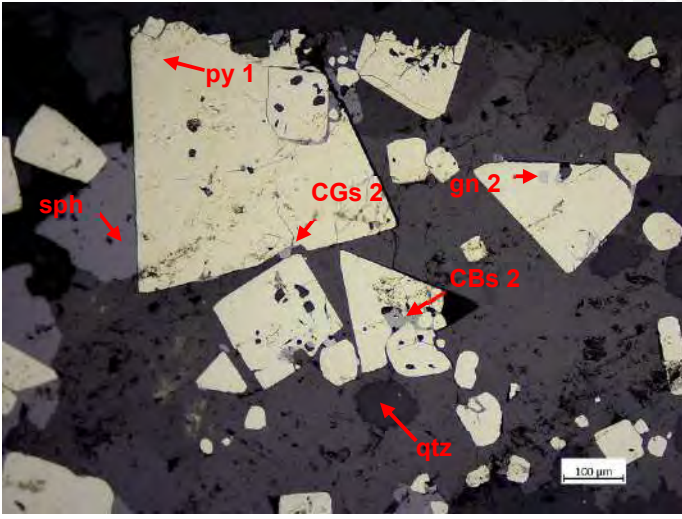
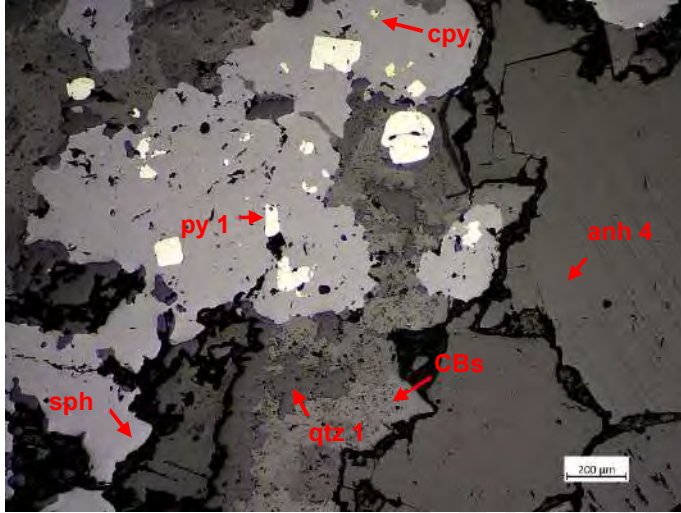
|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Diseminados de pirita de dos granulometrías en una matriz de cuarzo, anhidritas y carbonatos.</p> <p>Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita</p>   |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Granulometrías distintas de pirita: la mayor es de hasta 1.1 mm y la menor desde 25 µm hasta 300 µm.</p> <p>Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita</p>  |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicols paralelos. Granos de pirita de menor tamaño en el interior de pirita de mayor granulometría. El contacto entre ambas está marcado por sulfuros posteriores: esfalerita, cobres grises y galena.</p> <p>CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena</p> |

FOTO 4

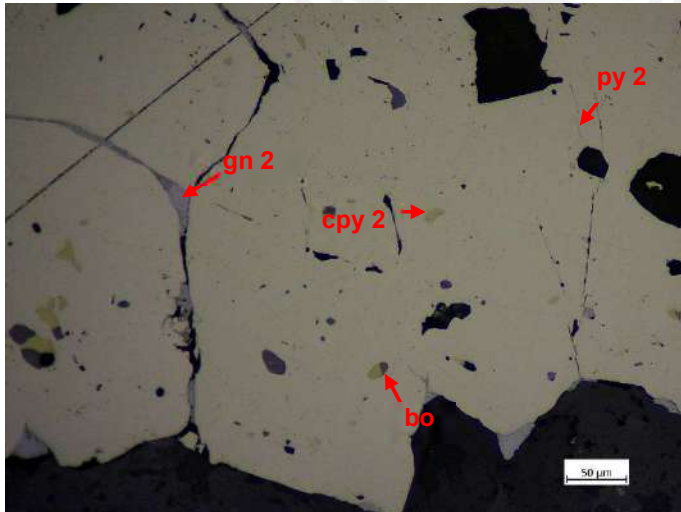


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Oclusiones de pirita y cuarzo e inclusiones de calcopirita en esfalerita. Los sulfuros se encuentran en una matriz de cuarzo, anhidrita y carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita

FOTO 5

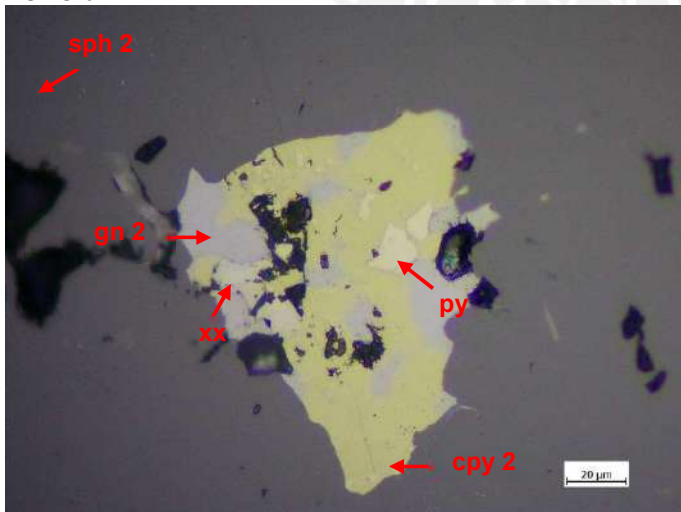


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de calcopirita reemplazada por bornita en pirita.

Py: pirita; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita; gn: galena

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Dentro de esfalerita con "chalcopyrite disease" se encuentran porosidades de calcopirita con oclusiones de pirita y parcialmente reemplazada por galena.

Py: pirita; gn: galena; cpy: calcopirita; xx: mineral no identificado

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA |                       |  |
|--------------------------|-----------------------|--|
| Referencia: 005-LP       | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, caja piso |
| DESCRIPCIÓN              |                       |  |
| Veta con calcopirita.    |                       |  |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |  |
|----------------|--|--|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita, cuarzo</p> <p><i>Abundante:</i> sulfuros, esfalerita</p> <p><i>Escasos:</i> yeso</p> <p><i>Muy escasos:</i> carbonatos</p> | <p>La sección consiste en una veta de sulfuros (pirita, esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena) dentro de la cual se registran remanentes de anhidrita y cuarzo. A cada lado de las vetas se reconocen dos zonas: (i) Una matriz de anhidrita con cristales anhedrales gruesos y, en algunos casos, contactos rectos entre sus cristales. Estos cristales crecen entre y sobre los cristales anhedrales de cuarzo (qtz 1). Siendo el cuarzo el primero en cristalizar, encontrándose en el interior de la anh como remanente. Los sulfuros dentro de esta matriz crecen entre los intersticios de la anhidrita, pudiéndose identificar relictos de anhidrita y cuarzo. (ii) Una matriz de anhidrita fina entre cuyos intersticios se instalan los cristales de sulfuros. Dentro de los cristales de sulfuros se encuentran relictos de anhidrita y escaso cuarzo (qtz 1). Esta matriz de anhidrita se encuentra alterada por carbonatos a través de intersticios y cortada por venillas de yeso tardío.</p> |



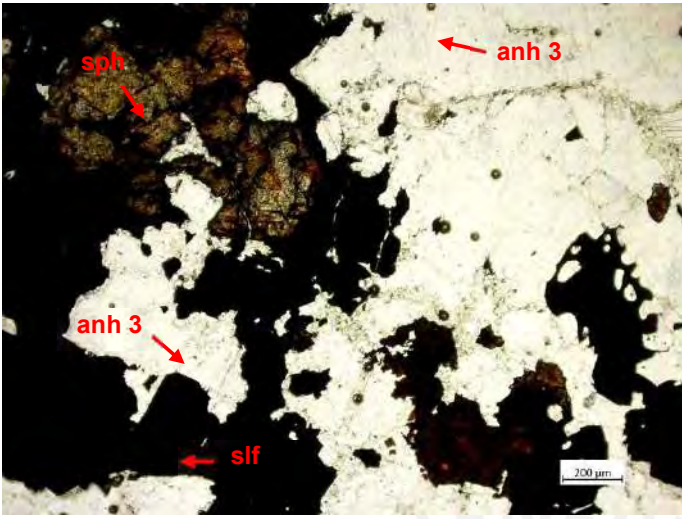
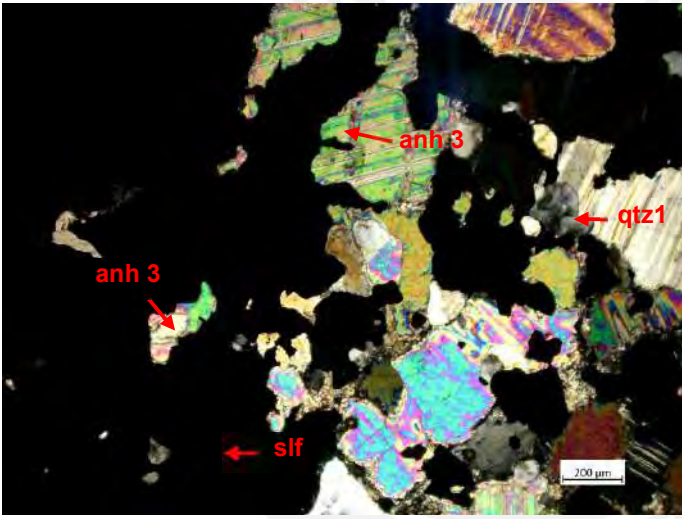
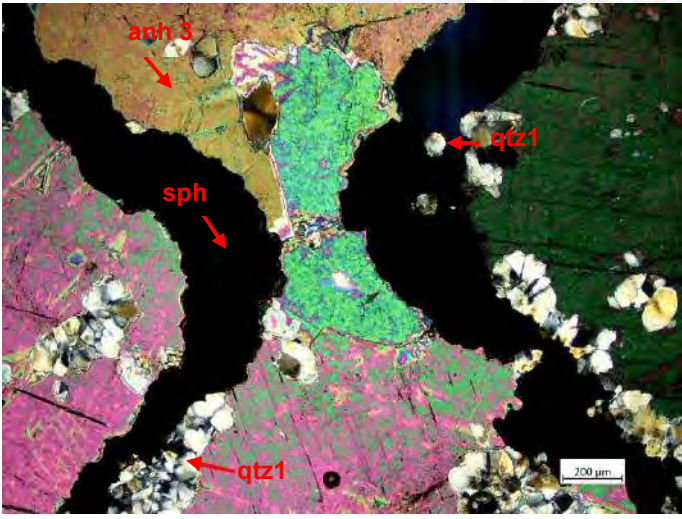
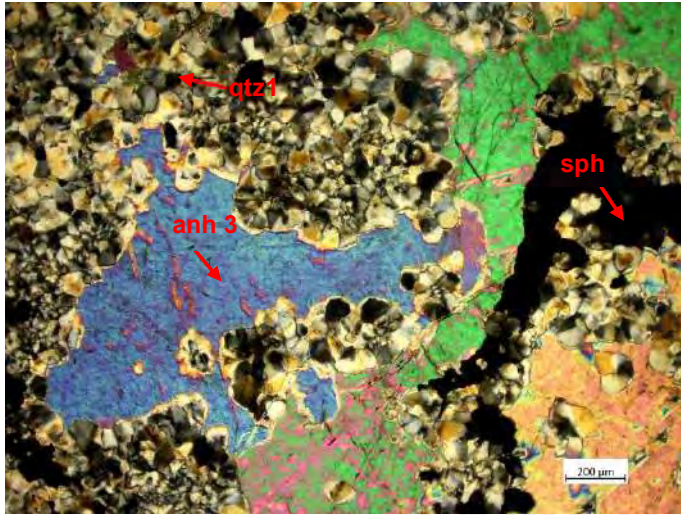
|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Contacto entre la veta de sulfuros con remanentes de anhidrita en su interior, con la matriz de anhidrita gruesa, en esta matriz se encuentran sulfuros diseminados.</p> <p>Anh: anhidrita; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p> |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Relictos de anhidrita y cuarzo en el interior de los sulfuros diseminados en la matriz de anhidrita gruesa.</p> <p>Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; slf: sulfuros</p>   |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de esfalerita creciendo entre los intersticios de los cristales gruesos de anhidrita y los cristales anhedrales de cuarzo.</p> <p>Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; sph: esfalerita</p>                                    |

FOTO 4

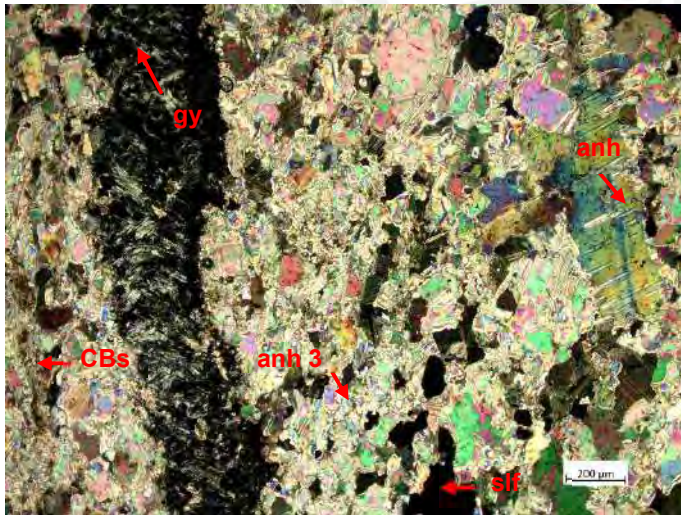


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de anhidrita crecieron entre los intersticios de los cristales de cuarzo, presentando remanentes de estos en su interior.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; sph: esfalerita

FOTO 5

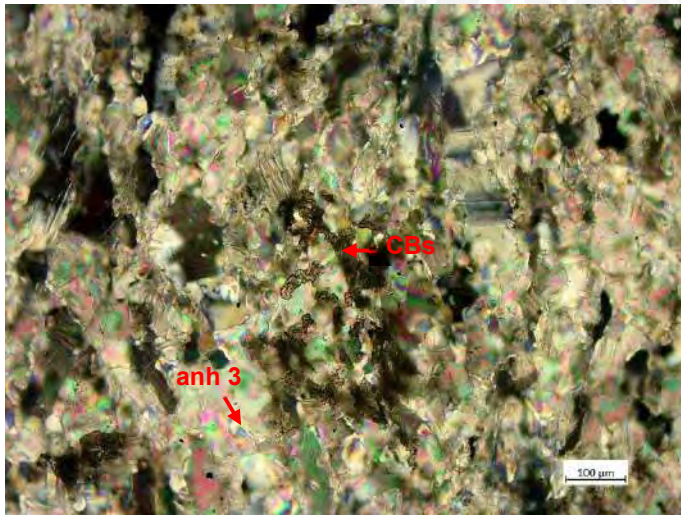


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Matriz de anhidrita fina con escasos cristales de anhidrita gruesa, cortadas por una veta tardía de yeso, y alterada por carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso; sph: esfalerita

FOTO 6

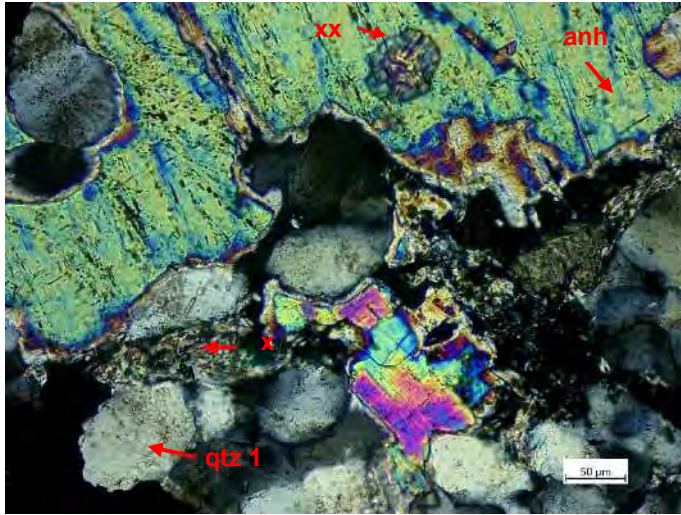


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Alteración de anhidrita por carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos

FOTO 7

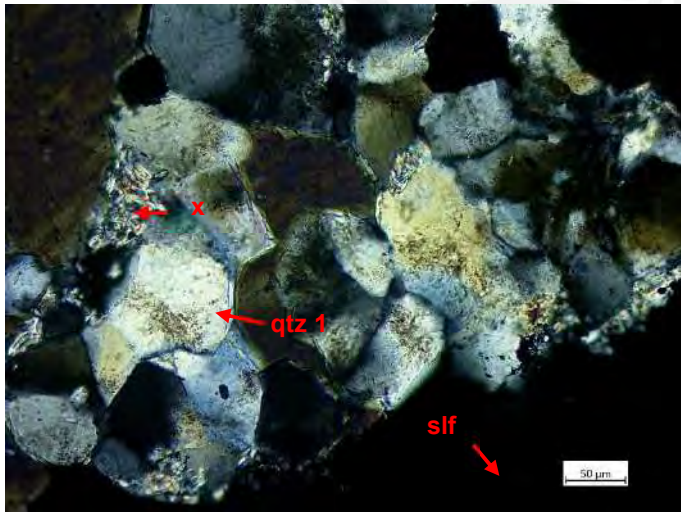


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; x: filosilicatos; xx: mineral no reconocido

FOTO 8



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cuarzo con crecimiento epiaxial.

Qtz: cuarzo; slf: sulfuros; x: filosilicatos

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|----------------------------|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 005-SPA | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, Caja piso. |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>         |                              |  |
| Veta con calcopirita.      |                              |  |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |  |  |
|-----------------------|--|--|
|                       | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> pirita, calcopirita, anhidrita; carbonatos</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita, cobres grises, cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> galena</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita, estannoidita, telurobismutita, petzita, hessita</p> | <p>La sección comprende de una vetilla de sulfuros, mayoritariamente: pirita, calcopirita, esfalerita, cobres grises y galena; creciendo entre los intersticios de la anhidrita y cuarzo que conforman la matriz. La vetilla está formada principalmente por calcopirita y pirita orientadas.</p> <p>La pirita corresponde al primer sulfuro que cristaliza, presentándose como cristales anhedrales a subhedrales de hábito cúbico, cuyos espacios dejados en sus microfracturas, intersticios y porosidades han sido ocupados por calcopirita, esfalerita, cobres grises y galesa; y con bornita, digenita, estannoidita y telurobismutita como inclusiones.</p> <p>La esfalerita es el siguiente sulfuro en cristalizar, se presenta como agregados irregulares reemplazado por sectores por calcopirita, cobres grises y galena.</p> <p>La calcopirita conforma la veta central que corta y reemplaza a los anteriores sulfuros. Se presenta como agregados irregulares parcialmente reemplazados por cobres grises y galena a través de intersticios, bordes y porosidades.</p> <p>Los cobres grises se presentan como agregados masivos, tal que se llega a distinguir la presencia de por lo menos dos minerales.</p> |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Estos sulfuros se encuentran reemplazados por galena a través de intersticios, bordes y porosidades; y escasamente por estannoidita a través de porosidades.</p> <p>La galena se presenta masiva, con inclusiones puntuales de estannoidita.</p> <p>Se ha encontrado puntualmente reemplazamiento de calcopirita por hessita y petzita.</p> |
|--|--|

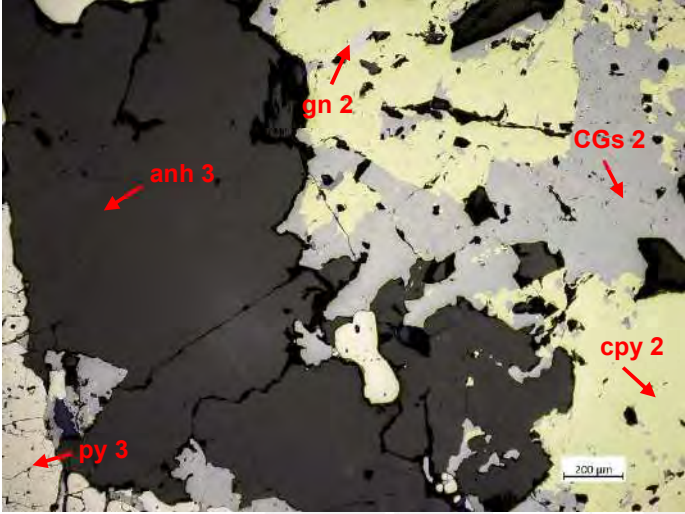
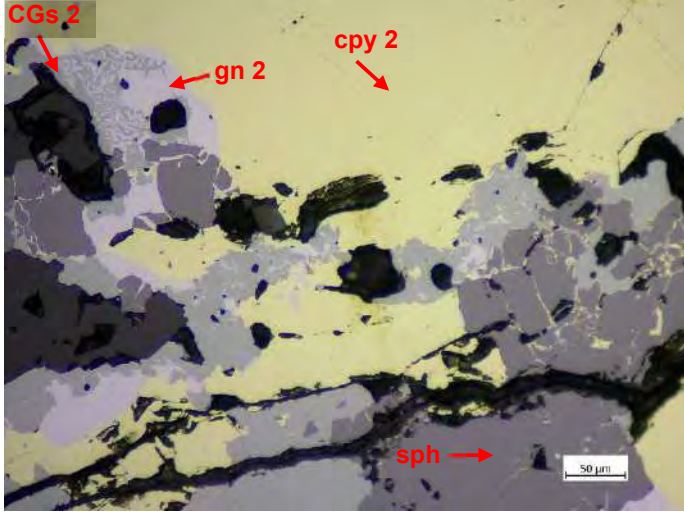
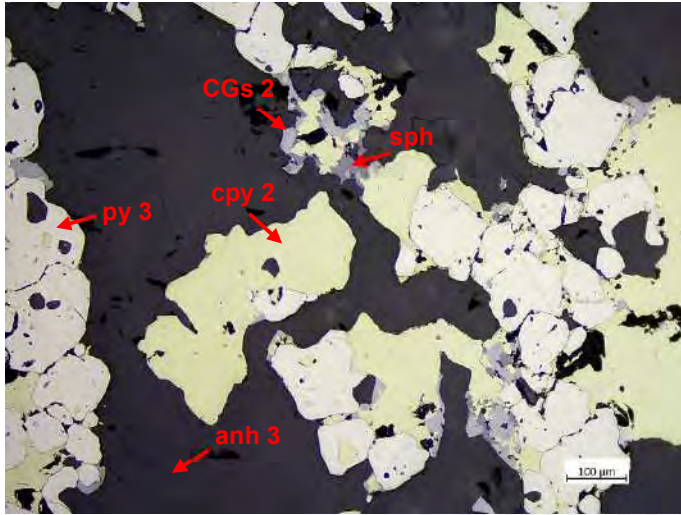
|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Contacto entre la veta de calcopirita con la matriz. A la derecha, agregados irregulares de dos tipos de cobres grises reemplazando calcopirita y pirita. A la izquierda microfracturada y porosa reemplazada por cobres grises. Ambos en una matriz de anhidrita.</p> <p>Anh: anhidrita; py: pirita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p>   |
| <p><b>FOTO 2</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Interior de la veta de calcopirita: masas irregulares de calcopirita, esfalerita, galena, cobres grises. Esfalerita con reemplazada por calcopirita a través de microfracturas. Ambas reemplazadas por cobres grises y galena. Reemplazamiento de cobres grises por galena desde sus bordes, y a través de una textura mirmequítica.</p> <p>Cpy: calcopirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena</p> |

FOTO 3

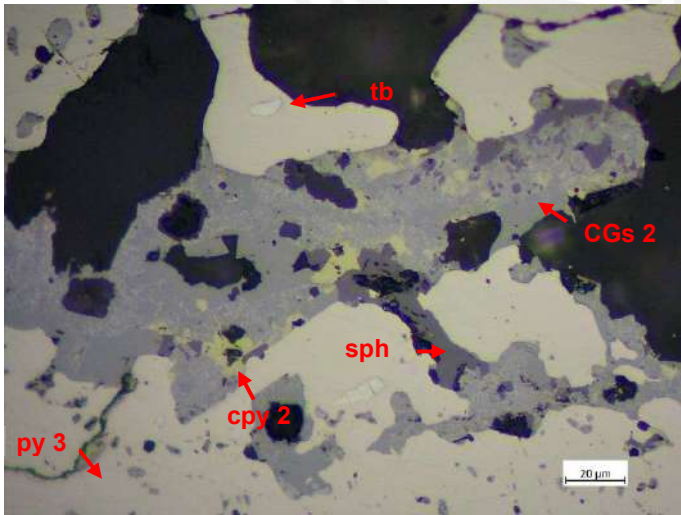


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Fuera de la veta de calcopirita: sulfuros crecieron entre los intersticios de la matriz. La pirita se encuentra remplazada por esfalerita; este conjunto, por calcopirita, luego por cobres grises.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 4

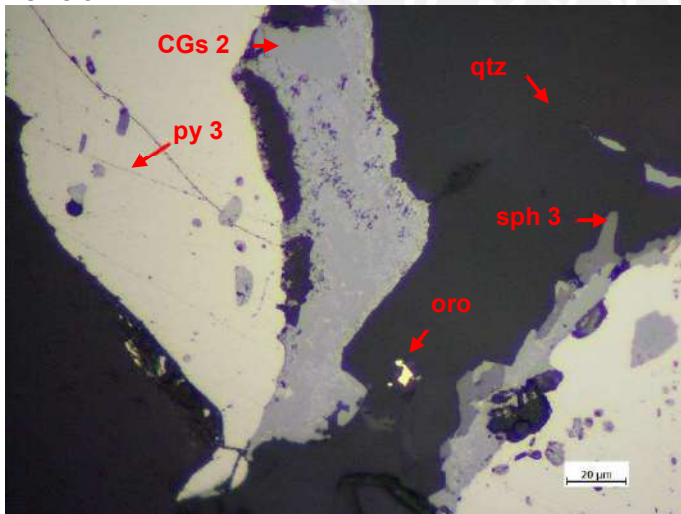


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Granos de telurio como inclusiones en pirita

Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena en Intercrecimiento mirmequítico con CGs; tb: telurobismutita

FOTO 5

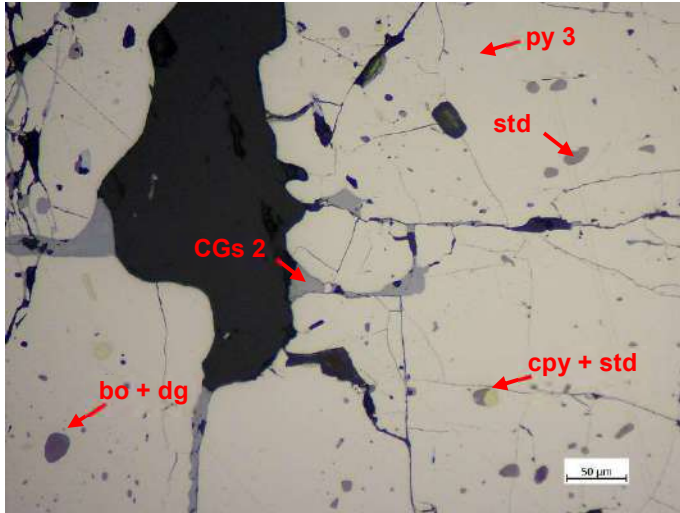


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada. Grano de oro en matriz de cuarzo.

Qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises

FOTO 6

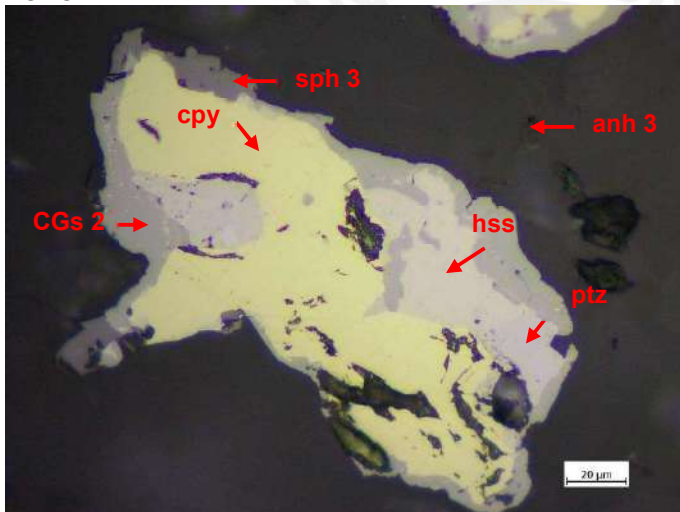


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicols paralelos. Pirita microfracturada, cuyos espacios han sido reemplazados por cobres grises; y con porosidades de calcopirita, bornita, digenita.

Py: pirita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; bo: bornita; dg: digenita; std: estannoidita

FOTO 7

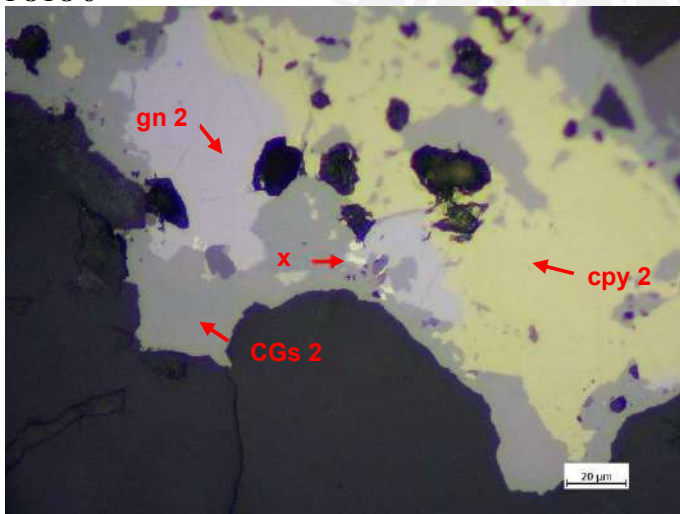


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicols paralelos. Calcopirita reemplazada por cobres grises, galena, petzita y hessita.

Cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; hss: hessita; ptz: petzita; anh: anhidrita

FOTO 8

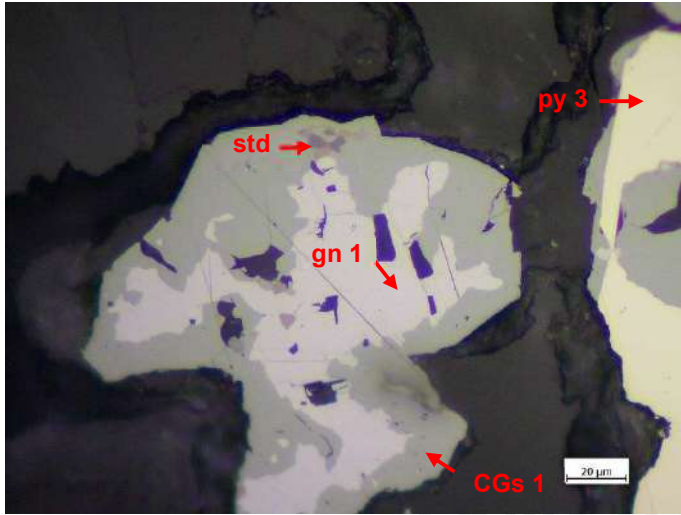


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicols paralelos. Inclusión de x en cobres grises y galena.

Cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; x: mineral no reconocido

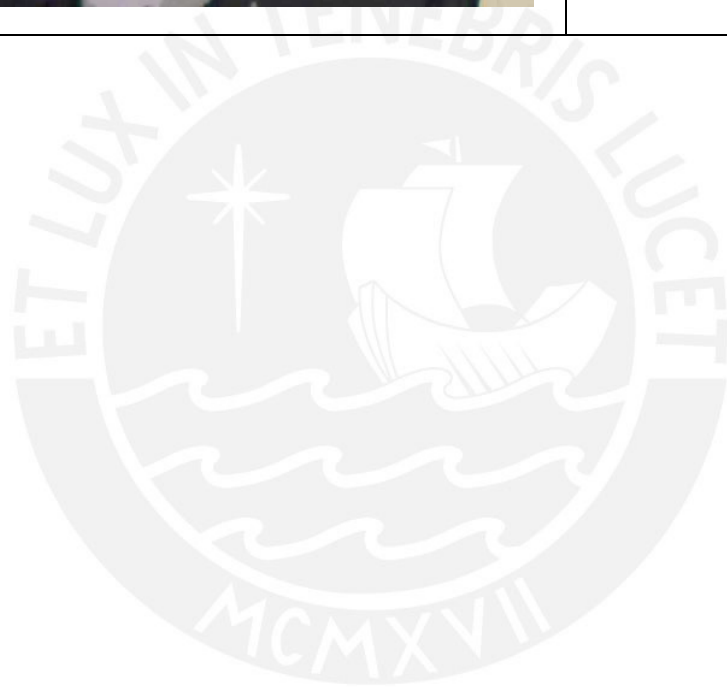
**FOTO 9**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusión de estannoidita en contacto de cobres grises y galena.

Py: pirita; CGs: cobres grises; gn: galena; std: estannoidita





| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |  |
|----------------------------|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 005-SPB | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, caja piso. |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>         |                              |  |
| Veta con calcopirita.      |                              |  |

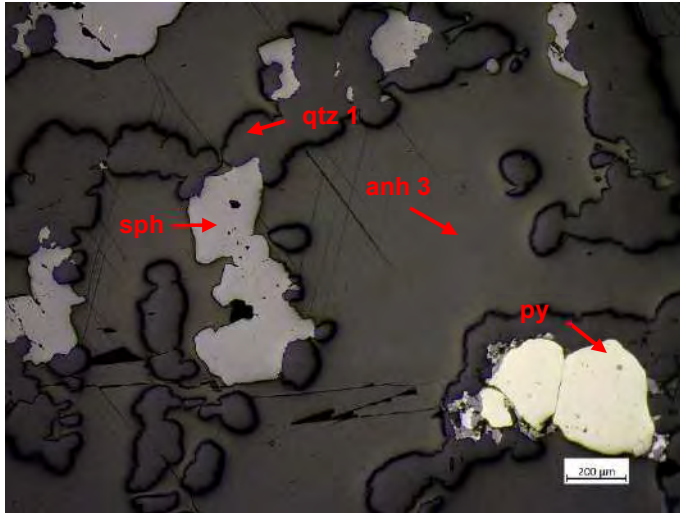


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |   |   |
|-----------------------|---|---|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita, cuarzo</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita, pirita</p> <p><i>Escasos:</i> cobres grises, calcopirita, galena, wolframita</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita</p> | <p>Matriz de anhidrita y cuarzo ocupando &gt;70% del área de la sección. En esta matriz hay diseminaciones de sulfuros como pirita, esfalerita, galena, calcopirita y cobres grises.</p> <p>La pirita se presenta en cristales anhedrales y ha sido reemplazada a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes por esfalerita, galena y cobres grises; y a través de porosidades por calcopirita, bornita, digenita y covelita.</p> <p>La esfalerita se presenta como agregados masivos ocupando amplias playas. Se encuentra limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita y galena. La esfalerita ha sido reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de porosidades y desde sus bordes.</p> <p>Los cobres grises se presentan como agregados masivos que han sido en parte reemplazados por galena a través de bordes e intersticios.</p> <p>La galena se presenta como agregados irregulares.</p> |

**FOTO 1**

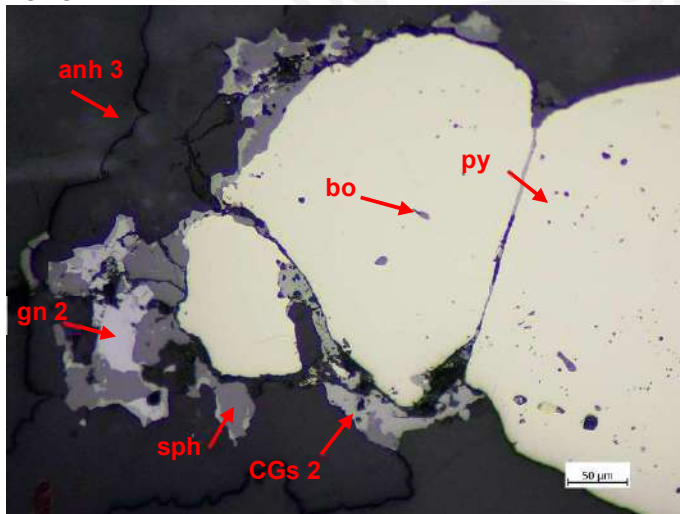


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Matriz de anhidrita en inclusiones esfalerita, cuarzo, pirita reemplazada por otros sulfuros.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena

**FOTO 2**

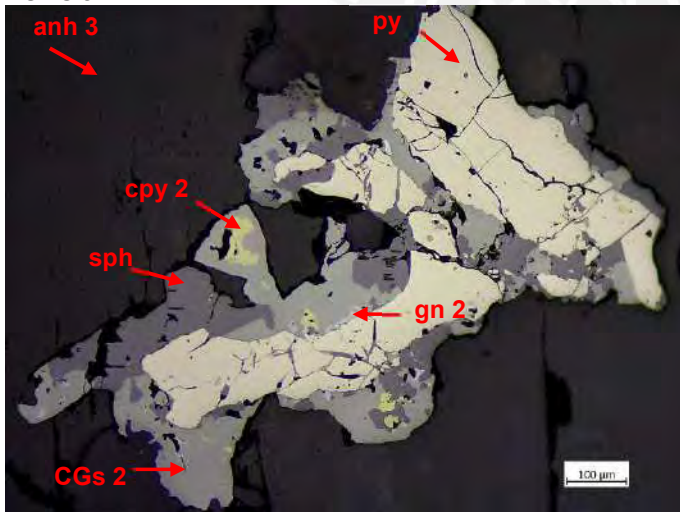


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita anhedral reemplazada por esfalerita, cobres grises y galena a través de bordes; y por calcopirita y bornita a través de porosidades.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena

**FOTO 3**

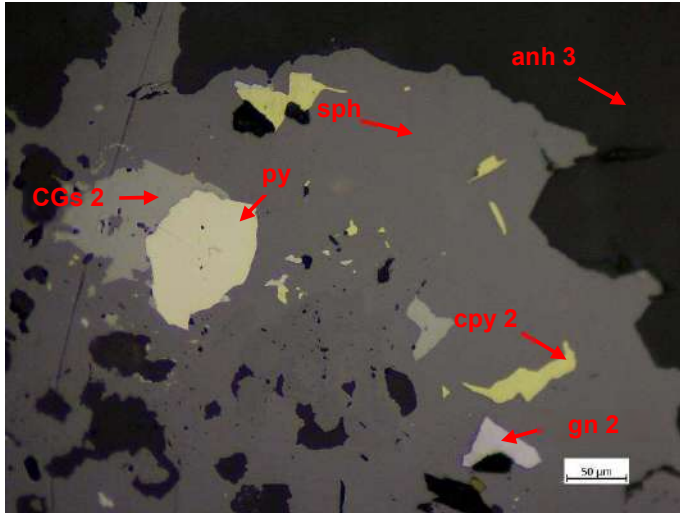


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de pirita y cobres grises por galena a través de sus intersticios.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena

**FOTO 4**

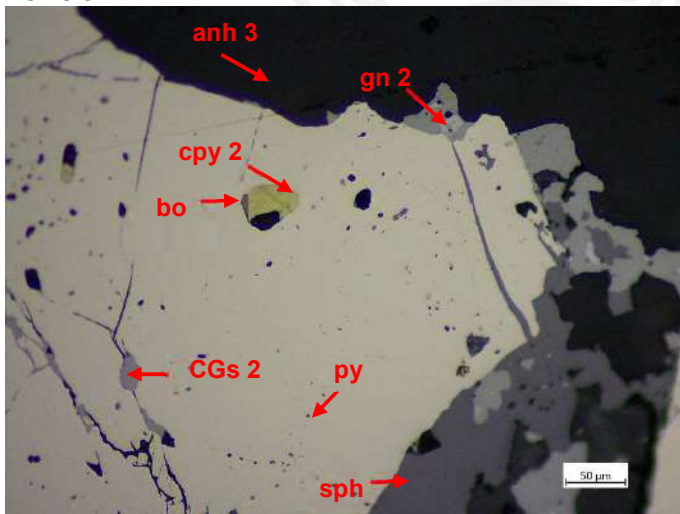


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita reemplazada por esfalerita y cobres grises a través de bordes. Esfalerita reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de porosidades.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena

**FOTO 5**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Calcopirita reemplazada por bornita.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; bo: bornita

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |                             |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| Referencia: 006-LP  | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar |
| DESCRIPCIÓN   |                       |                             |
| Sulfuros diseminados en una matriz de anhidrita y carbonatos. Oropimente posterior. |                       |                             |



2019-MOR  
006 LP



6

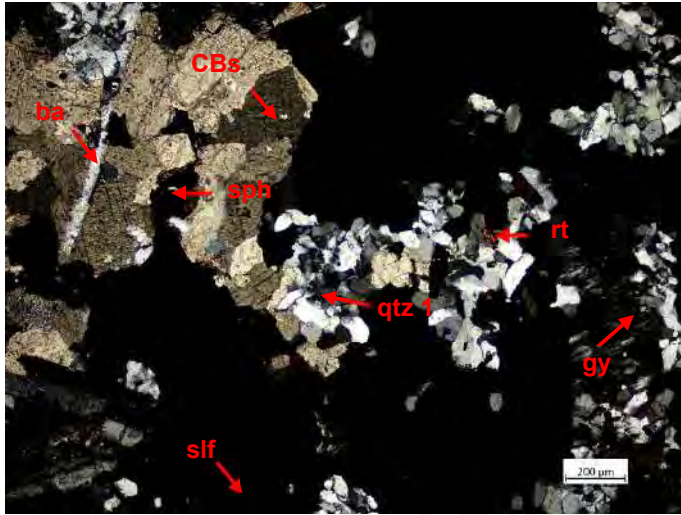
**Arriba:** Foto de muestra de interior de mina de la cual se realizó la lámina delgada.

**Izquierda:** Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i><br/> <i>Abundante:</i> cuarzo, anhidrita, carbonatos, sulfuros, esfalerita<br/> <i>Escasos:</i> yeso, baritina<br/> <i>Muy escasos:</i> rutilo</p> | <p>Diseminación de sulfuros en una matriz de cuarzo, carbonatos, baritina y anhidrita. La anhidrita se presenta conformando nódulos de cristales grandes (hasta 2.8 mm) cortados por vetas de cuarzo, y alterados por yeso a través de sus intersticios y clivajes. Los sulfuros, carbonatos y baritina han crecido entre los intersticios de los granos anhedrales de cuarzo (qtz 1), encontrándose remanentes de cuarzo y anhidrita en su interior. El cuarzo se presenta de tres tipos: cristales anhedrales pequeños (qtz 1), cristales euhedrales-anhedrales zonados gruesos (qtz 2), cristales anhedrales que conforman la vetilla que corta el nódulo de anhidrita. Como cristales accesorios se encuentra al rutilo asociado a los sulfuros.</p> |

| FOTO 1 | Comentarios:  |
|--------|---|
|        | <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros crecieron entre los intersticios de los cristales de cuarzo, presentando relictos de este en su interior.</p> <p>CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; sph: esfalerita; slf: sulfuros; rt: rutilo; ba: baritina</p> |

FOTO 2

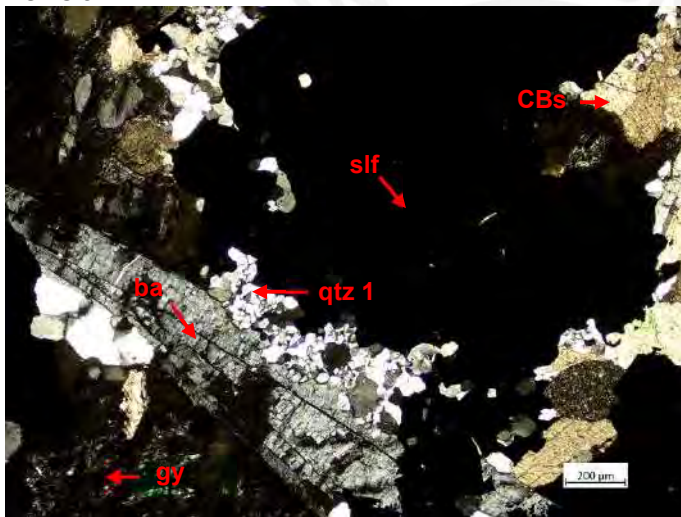


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Sulfuros y carbonatos crecieron entre los intersticios de los cristales anhedral de cuarzo.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; sph: esfalerita; slf: sulfuros; rt: rutilo; ba: baritina

FOTO 3

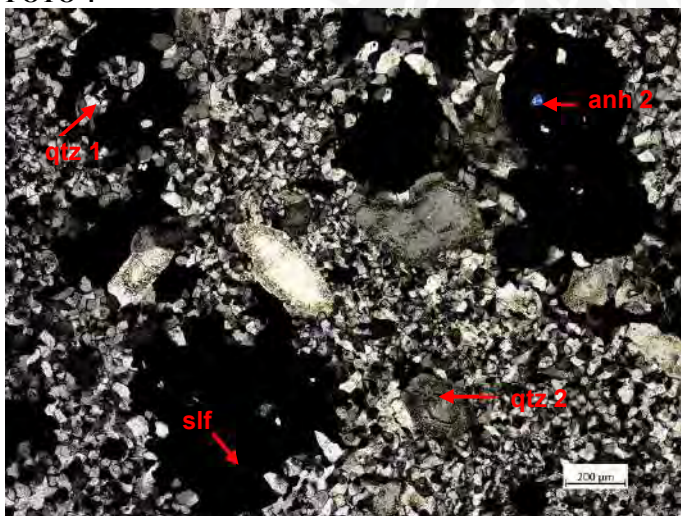


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristal tabular de baritina crece sobre cristales anhedral de cuarzo.

Anh: anhidrita; cb: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 4

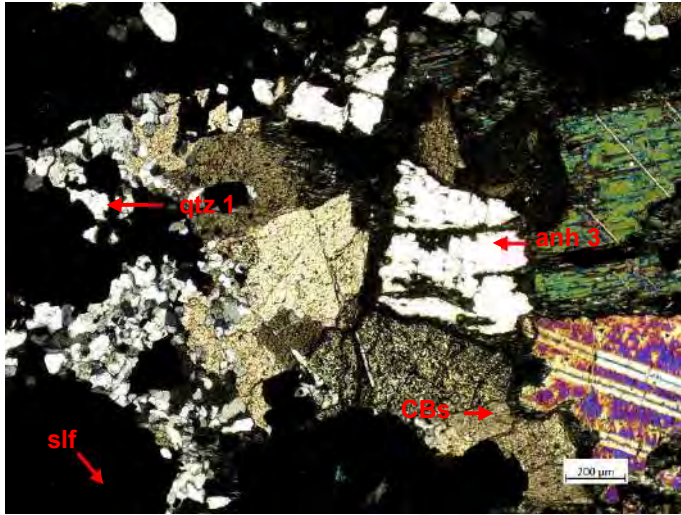


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales zonados de cuarzo (qtz 2) en una matriz de cuarzo anhedral (qtz 1), dentro de la cual, además, se encuentran sulfuros diseminados con relictos de cuarzo y anhidrita

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; slf: sulfuros

**FOTO 5**

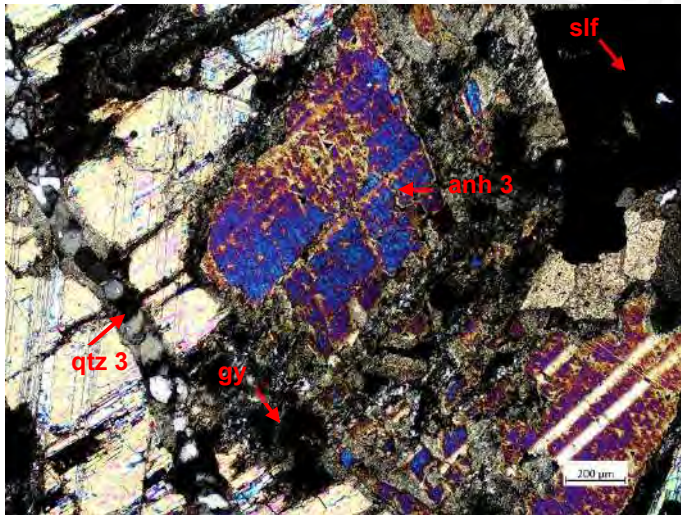


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto de la matriz con el nódulo de anhidrita.

Anh: anhidrita; cb: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

**FOTO 6**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Vetillas de cuarzo cortan el nódulo de anhidrita. El conjunto es posteriormente alterado por yeso.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                              |                                    |
|---|------------------------------|------------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 006-SPA  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                              |                                    |
| Sulfuros diseminados en una matriz de anhidrita y carbonatos. Oropimente posterior. |                              |                                    |

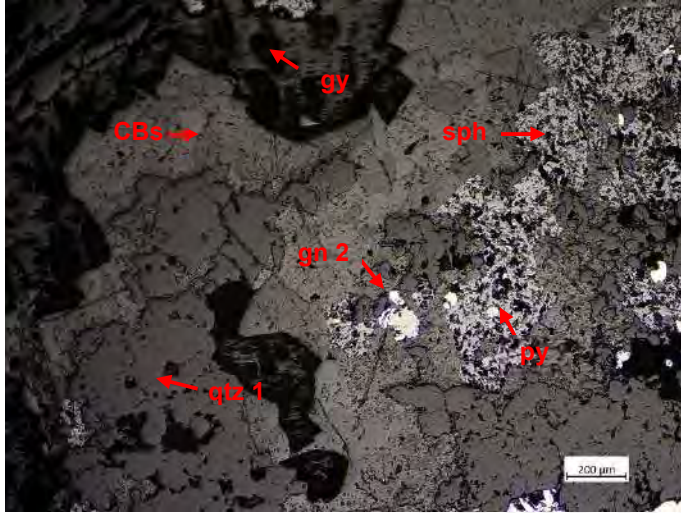


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |   |  |
|-----------------------|---|--|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> cuarzo, anhidrita/yeso</p> <p><i>Abundante:</i> carbonato, pirita, esfalerita, galena</p> <p><i>Escasos:</i> cobres grises, calcopirita</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita</p> | <p>La sección corresponde, en un 70%, a una matriz de anhidrita, cuarzo y carbonatos, en la que se encuentran diseminados sulfuros principalmente de esfalerita. El primer sulfuro en cristalizar es la pirita, esta se presenta como cristales subhedrales a anhedrales parcialmente reemplazados por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes; y, por bornita y digenita a través de porosidades. La esfalerita es el siguiente sulfuro que cristaliza. Se presenta como un agregado masivo, limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, reemplazada por cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y bordes. La calcopirita es el siguiente sulfuro en cristalizar, se presenta como agregados irregulares escasos reemplazados por cobres grises y galena. Los cobres grises continúan en la secuencia de cristalización, se presentan como agregados masivos reemplazados por galena a través de porosidades, intersticios y bordes. La galena es el último sulfuro en cristalizar, se presenta como agregados irregulares.</p> |

FOTO 1

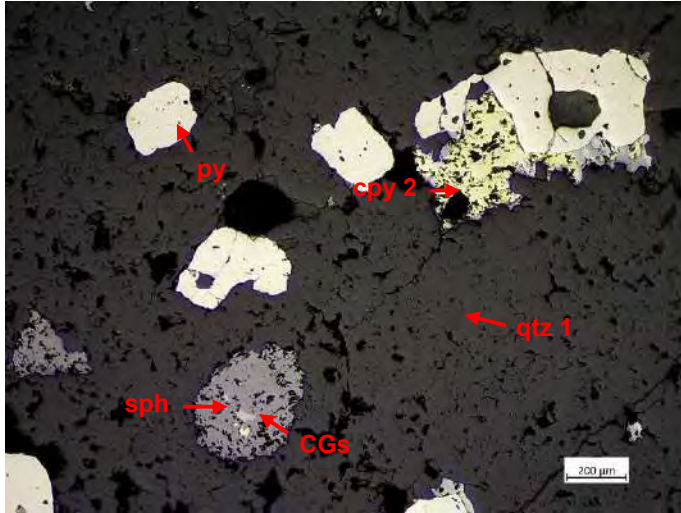


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros diseminados en un matriz de cuarzo, carbonatos y yeso. En el contacto con el nódulo de yeso, se presentan carbonatos euhedrales.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena

FOTO 2

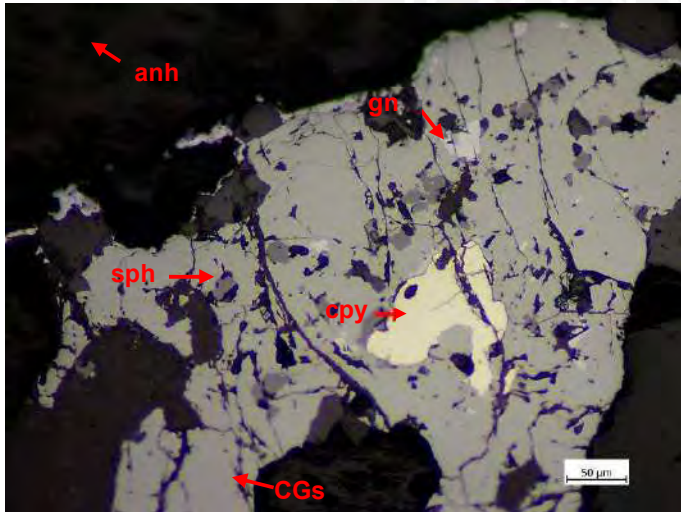


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Granos de pirita anhedral reemplazados desde sus bordes por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena.

Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises

FOTO 3



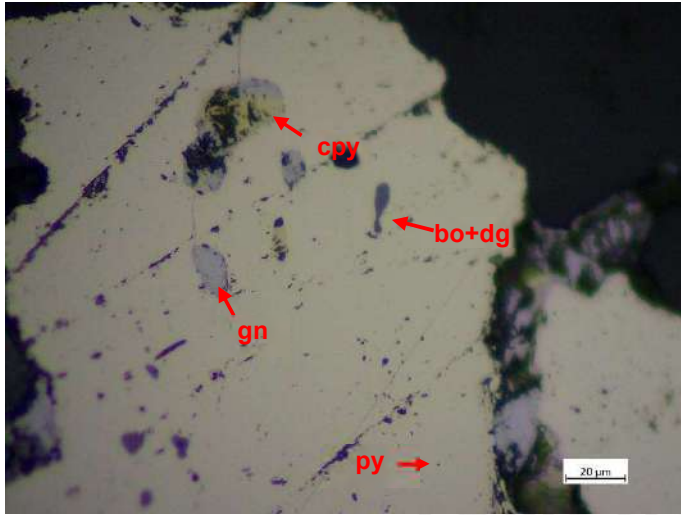
**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Oclusiones de pirita y esfalerita, e inclusiones de galena en cobres grises.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena



**FOTO 4**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de calcopirita, galena, bornita y digenita en pirita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita



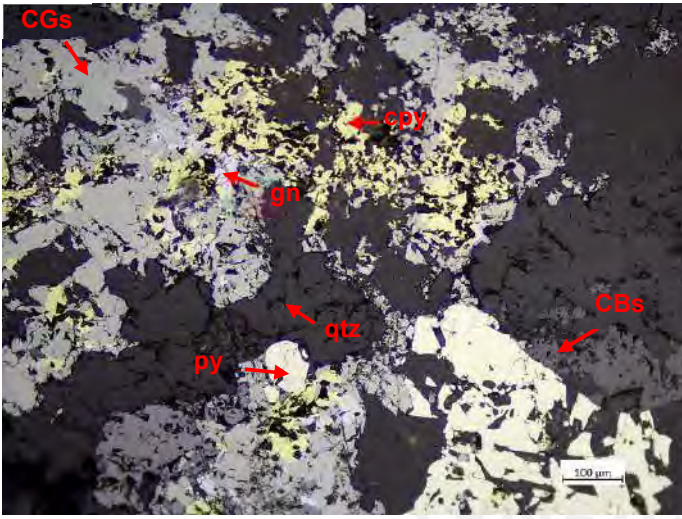
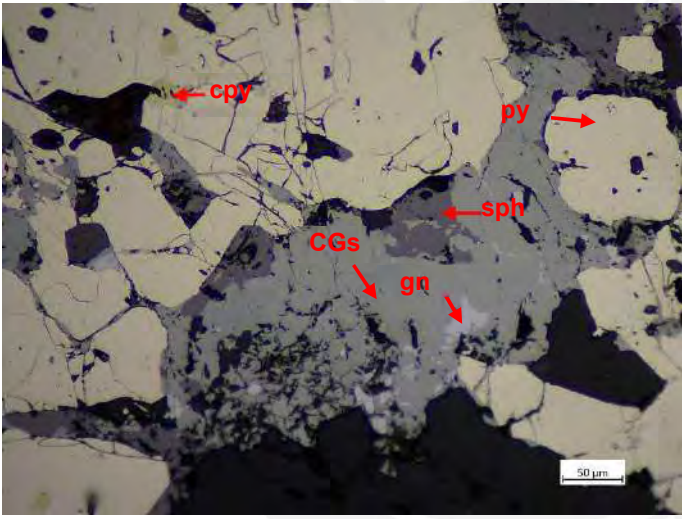
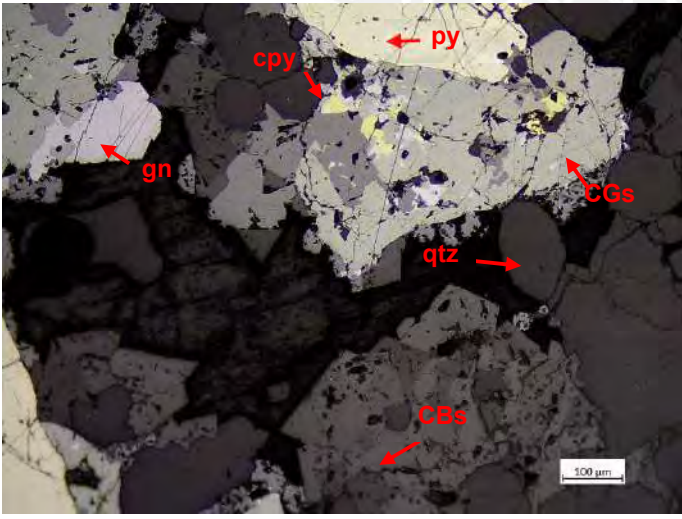
| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                              |                                    |
|---|------------------------------|------------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 006-SPB  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                              |                                    |
| Sulfuros diseminados en una matriz de anhidrita y carbonatos. Oropimente posterior. |                              |                                    |



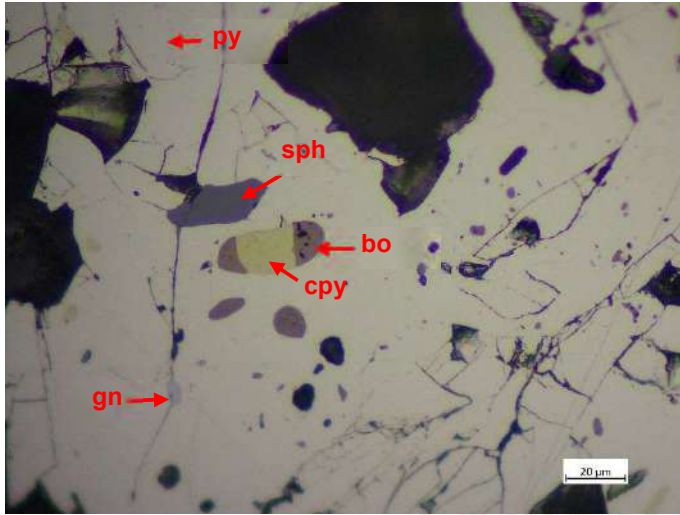
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |  |  |
|----------------|--|--|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> cuarzo, anhidrita, carbonatos</p> <p><i>Abundante:</i> pirita, esfalerita, cobres grises</p> <p><i>Escasos:</i> galena, baritina</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita</p> | <p>Diseminación de sulfuros (20%) intercrecidos entre los intersticios y porosidades de los granos de cuarzo, baritina y carbonatos, que junto a la anhidrita conforman la matriz de la sección. En orden de cristalización, los sulfuros principales se componen de: pirita, esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena. La pirita es el primer sulfuro en cristalizar, se presenta como cristales subhedrales a anhedrales, en algunos casos cataclásticos, parcialmente reemplazados por esfalerita, cobres grises y galena a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes; y por calcopirita, bornita y digenita a través de porosidades. La esfalerita se presenta limpia o con escasas inclusiones de calcopirita, parcialmente reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de intersticios, porosidades y bordes. La calcopirita se presenta como un agregado irregular reemplazada por cobres grises y galena; y por bornita en el caso de la calcopirita como inclusión en la pirita. Los cobres grises se presentan como agregados masivos reemplazados por agregados irregulares de galena a través de intersticios, porosidades y bordes. La galena se presenta como agregados irregulares que reemplazan a todos los sulfuros anteriores.</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros diseminados, crecieron entre los intersticios del cuarzo, dentro de una matriz de cuarzo, anhidrita y carbonatos.</p> <p>Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p>                                  |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de calcopirita en pirita reemplazada por esfalerita, cobres grises y galena.</p> <p>Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p>  |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de esfalerita por calcopirita, el conjunto reemplazado por cobres grises y galena. Y a su vez, reemplazamiento de cobres grises por galena.</p> <p>Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p> |

**FOTO 4**

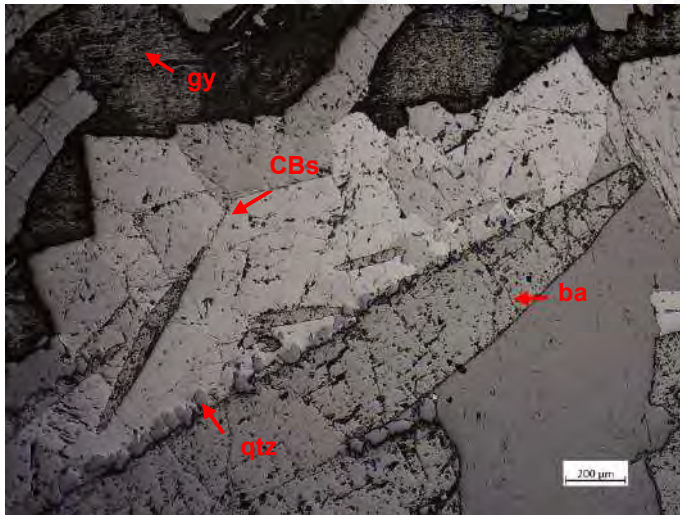


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de esfalerita, calcopirita, galena y bornita en pirita. Reemplazamiento de calcopirita por bornita.

Py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita

**FOTO 5**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Granos de cuarzo sobre y entre cristales de baritina; posteriormente carbonatos.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; gy: yeso; ba: barita

**DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA**

|                           |                              |  |
|---------------------------|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 007-LP | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, anhidrita de la secuencia sedimentaria |
|---------------------------|------------------------------|--|

**DESCRIPCIÓN**

Lente de 20 x 4 cm paralelo a la estratificación, contiene esfalerita gruesa marrón rojiza con anhidrita de grano grueso, recrystalizada y removilizada en su núcleo. Presenta un ribete de carbonatos en la parte baja.



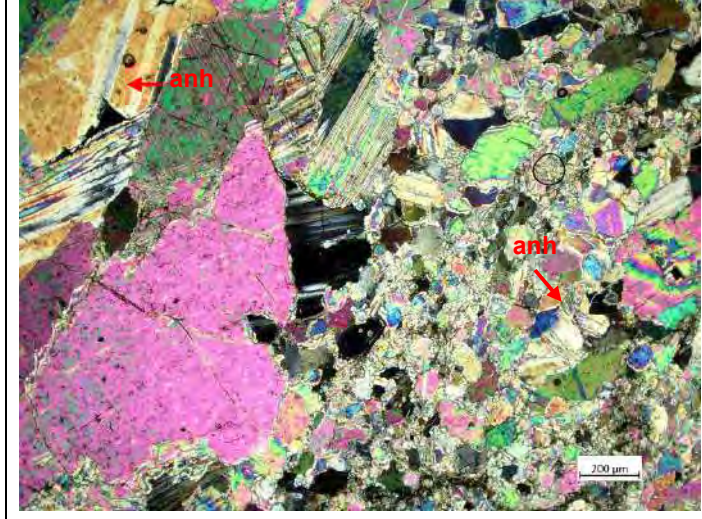
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

**COMPOSICIÓN**

|                       | <b>MINERALOGÍA</b>   | <b>TEXTURA / OBSERVACIONES</b>  |
|-----------------------|--|---|
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita, carbonato</p> <p><i>Abundante:</i> cuarzo, esfalerita</p> <p><i>Escasos:</i> yeso</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La lámina delgada está compuesta por una matriz de anhidrita fina y nódulos de anhidrita gruesa; ambas alteradas por carbonatos y yeso, en el primer caso a través de sus intersticios, y en el segundo caso desde el extremo del nódulo. Los carbonatos se encuentran principalmente acumulados cerca de la zona de esfalerita, en parte reemplazándolos; registrándose, además, en esta zona, cristales anhedrales de cuarzo. En la zona de esfalerita, se encuentra cristales anhedrales gruesos de esfalerita que crecen entre los intersticios de la anhidrita gruesa; y al contacto con el cuerpo de anhidrita fina, cristales finos de esfalerita diseminados sobre esta matriz. Dentro de los cristales de esfalerita se registran relictos de cuarzo y anhidrita.</p> |

**FOTO 1**

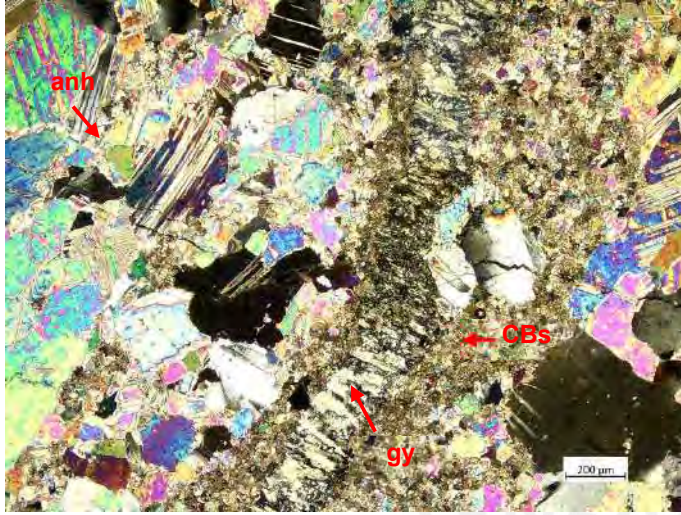


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Nódulos de anhidrita gruesa en matriz de anhidrita fina.

Anh: anhidrita

FOTO 2

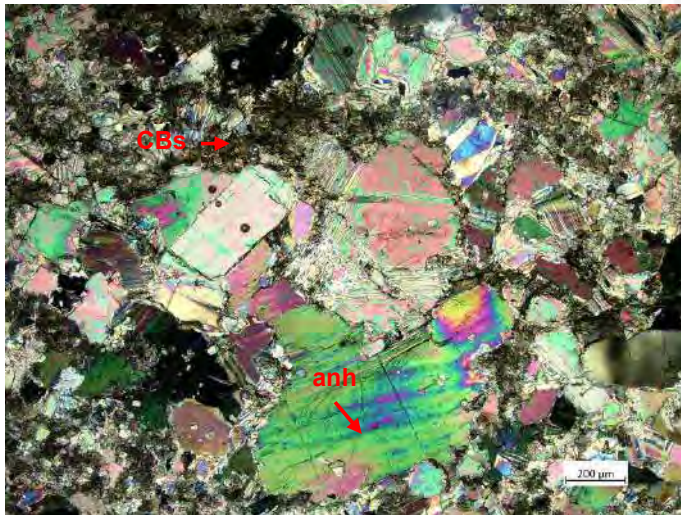


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Vetilla de yeso corta la matriz de anhidrita alterada por carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso

FOTO 3

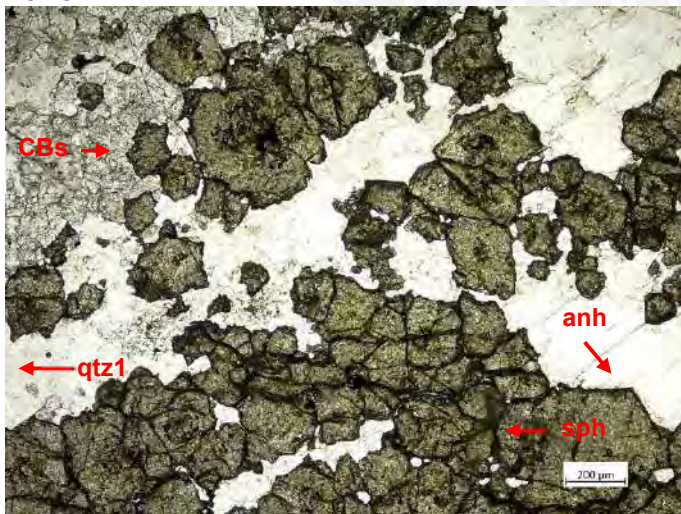


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Alteración de anhidrita por carbonatos a través de intersticios.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos

FOTO 4

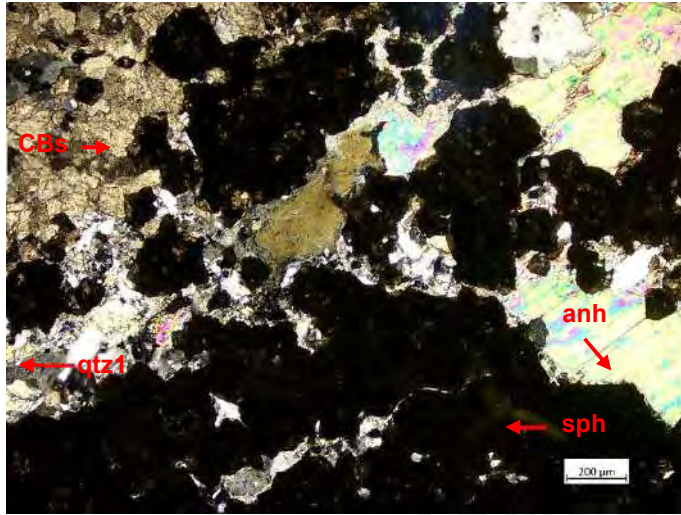


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Cristales de esfalerita crecieron entre los intersticios de los cristales de anhidrita.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; sph: esfalerita

FOTO 5

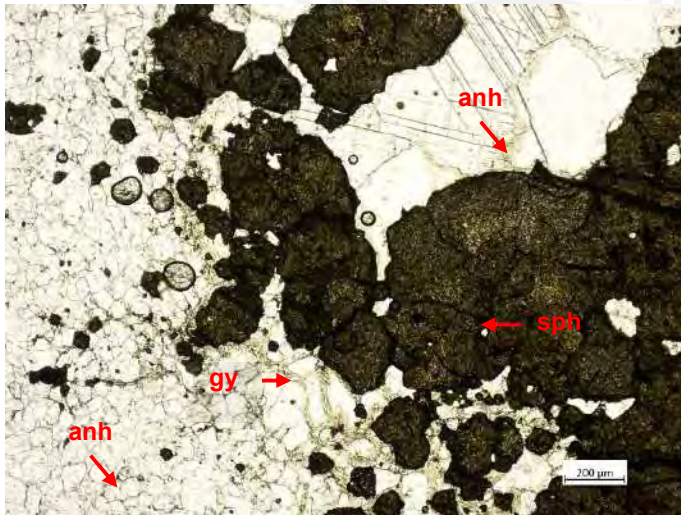


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de esfalerita crecen entre los intersticios de anhidrita gruesa y fina, presentando relictos de anhidrita en su interior. alteración por yeso posterior.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso; sph: esfalerita; qtz: cuarzo

FOTO 6

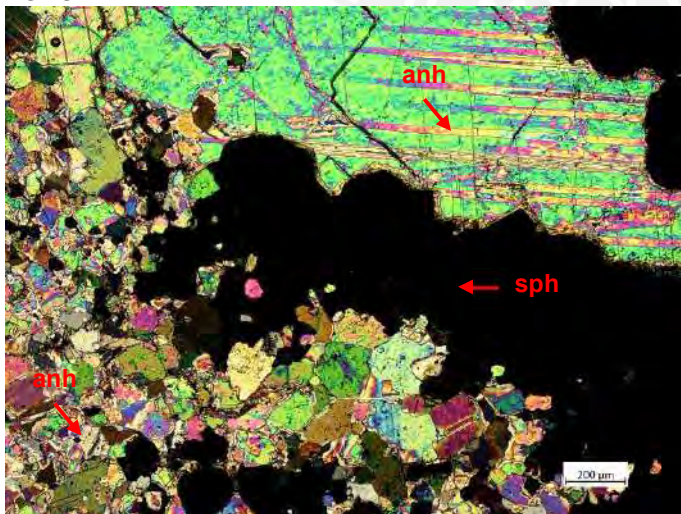


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de esfalerita crecen entre los intersticios de anhidrita gruesa y fina, presentando relictos de anhidrita en su interior. alteración por yeso posterior.

Anh: anhidrita; sph: esfalerita; gy: yeso

FOTO 7

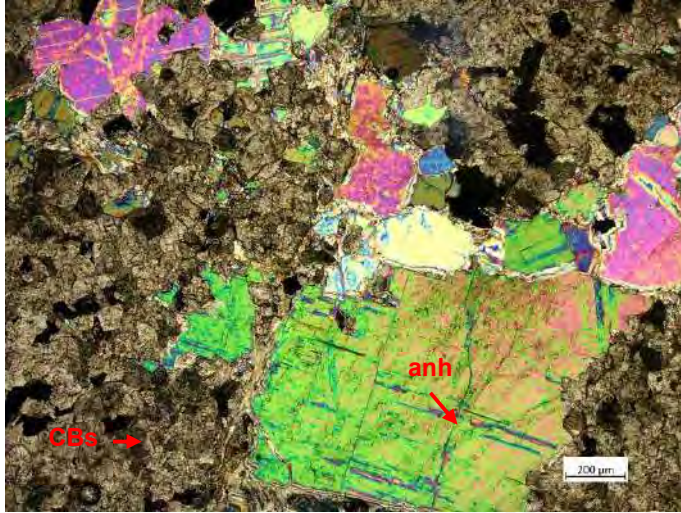


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de esfalerita crecen entre los intersticios de anhidrita gruesa y fina, presentando relictos de anhidrita en su interior.

Anh: anhidrita; sph: esfalerita

**FOTO 8**

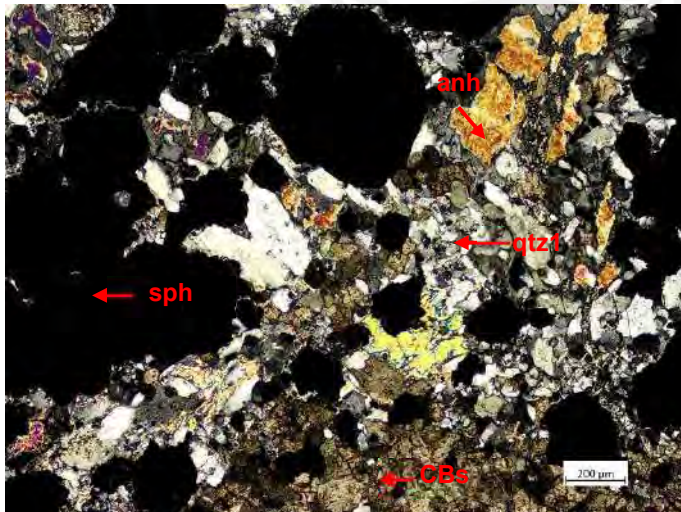


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Alteración de anhidrita por carbonatos a través de bordes.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos

**FOTO 9**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Alteración de anhidrita por carbonatos a través de intersticios.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; qtz: cuarzo



### DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

|                           |                              |  |
|---------------------------|------------------------------|--|
| <b>Referencia:</b> 007-SP | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, anhidrita de la secuencia sedimentaria |
|---------------------------|------------------------------|--|

### DESCRIPCIÓN

Lente de 20 x 4 cm paralelo a la estratificación, contiene esfalerita gruesa marrón rojiza con anhidrita de grano grueso, recrystalizada y removilizada en su núcleo. Presenta un ribete de carbonatos en la parte baja.

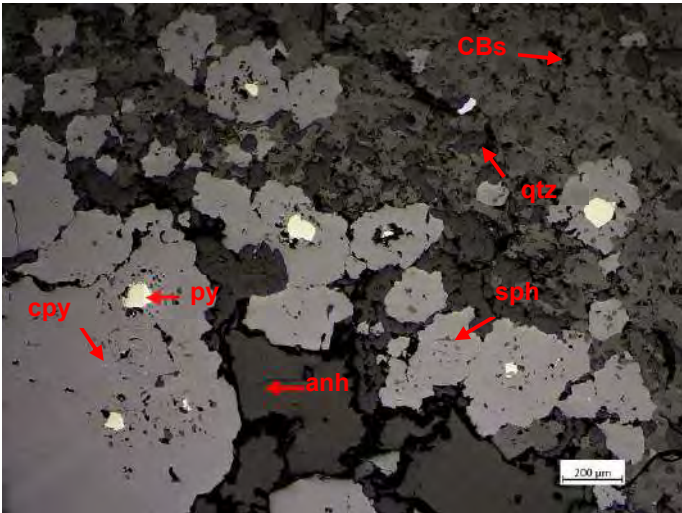
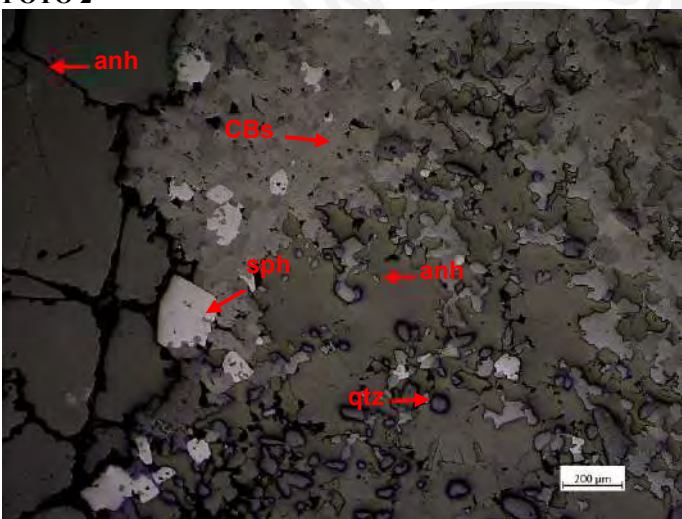
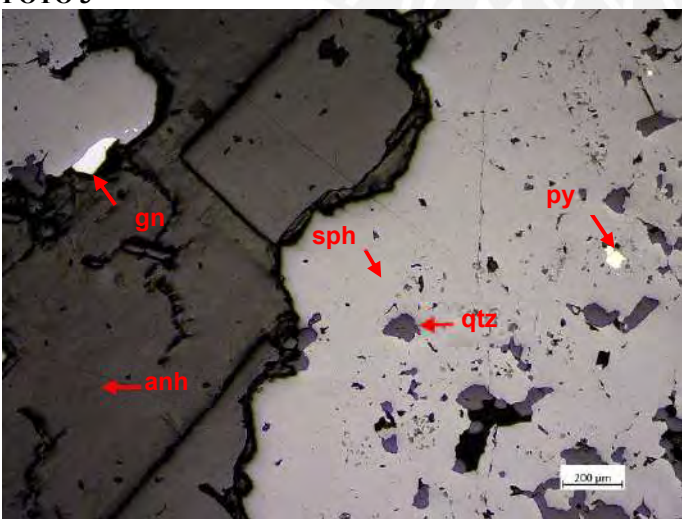


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.



| COMPOSICIÓN           |   |  |
|-----------------------|---|--|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> anhidrita, carbonato, esfalerita</p> <p><i>Abundante:</i> cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> pirita</p> <p><i>Muy escasos:</i> calcopirita, galena, cobres grises</p> | <p>La sección corresponde en su 60 % de una matriz de anhidrita, carbonatos y cuarzo. Intercrecidos entre los intersticios de los cristales de cuarzo y anhidrita se encuentra agregados masivos de esfalerita rojiza limpia o con escasas oclusiones de granos anhedrales de pirita, e inclusiones de calcopirita, cobres grises y galena. Dentro del nódulo de anhidrita/ yeso masivo no se encontraron sulfuros. El carbonato de la sección es posterior tanto a la matriz como a los sulfuros, crecieron entre los intersticios de todo el conjunto.</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Masas irregulares de esfalerita crecieron entre los intersticios de cuarzo y anhidrita, presentando inclusiones de cuarzo dentro de sus cristales.</p> <p>Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CBs: carbonatos</p> |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Carbonatos crecieron entre intersticios de la anhidrita y el cuarzo, presentando inclusiones de ambas entre sus cristales.</p> <p>Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; CBs: carbonatos; sph: esfalerita</p>                                     |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de cuarzo y pirita al interior de la esfalerita.</p> <p>Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena</p>  |

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                       |   |
|--|-----------------------|---|
| Referencia: 008-LP   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Veta Morro Solar, cuerpo reemplazamiento |
| DESCRIPCIÓN  |                       |   |
| Brecha de caliza cristaliza en matriz de anhidrita removilizada. |                       |   |

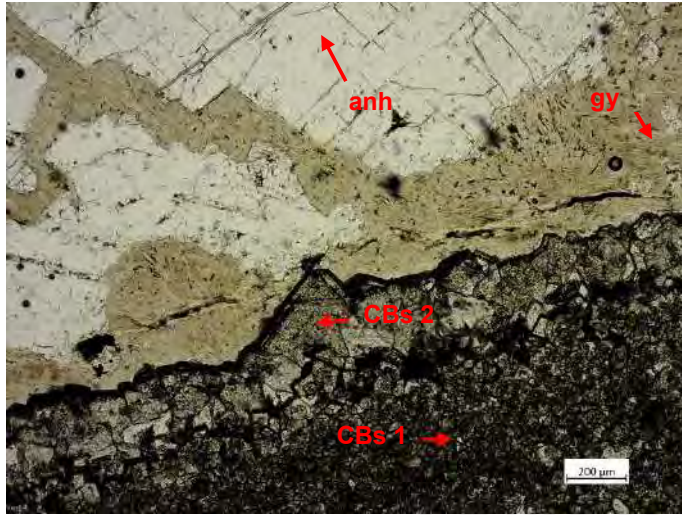


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos<br/> <i>Abundante:</i> anhidrita, yeso<br/> <i>Escasos:</i> sulfuros, cuarzo, baritina, cuarzo, dolomita<br/> <i>Muy escasos:</i> plagioclasa</p> | <p>La sección consiste en una brecha de caliza cristalina, cuyos clastos están formados por cristales de carbonato que recrystalizan al contacto con los cristales anhidrita, alterados a yeso, que conforman la matriz de la brecha. Los clastos se componen de cristales anhedrales de carbonatos y escasos cristales anhedrales de cuarzo, barita, plagioclasa y anhidrita. Entre los intersticios de los carbonatos y los cristales de cuarzo que conforman la matriz, crecieron: cristales de dolomita, sulfuros anhedrales diseminados, cristales aciculares de baritina con relictos de cuarzo y carbonatos, y nódulos de yeso en cuyo contacto con carbonatos, estos recrystalizan. Dentro del ribete de recrystalización que rodean los clastos, se orientan sulfuros anhedrales a subhedrales de mayor tamaño a los del interior del clasto.</p> |

FOTO 1

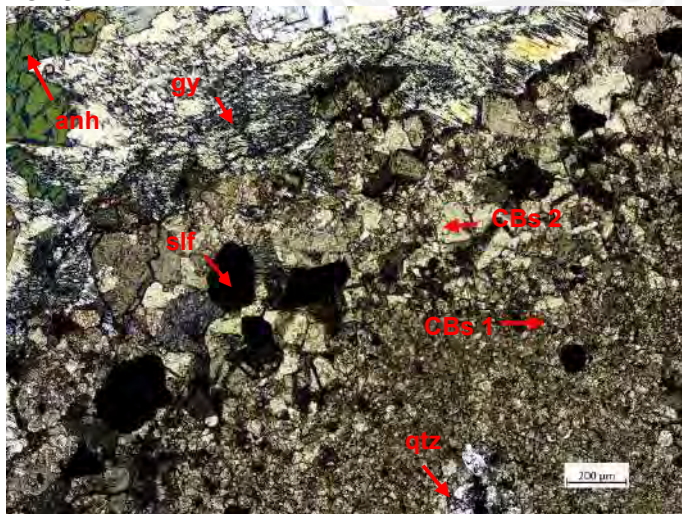


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Ribete de recrystalización de carbonatos al contacto con la matriz de anhidrita alterada a yeso.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso;

FOTO 2

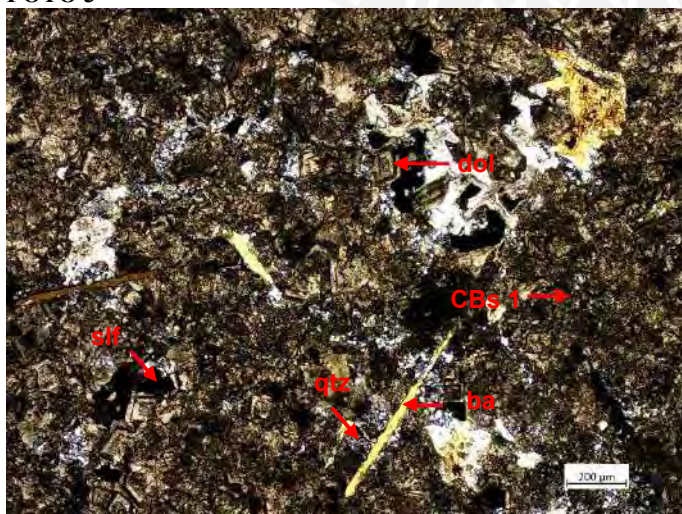


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. En el ribete de carbonatos recrystalizados se orientan sulfuros de mayor tamaño a los encontrados dentro del clasto de caliza.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros

FOTO 3

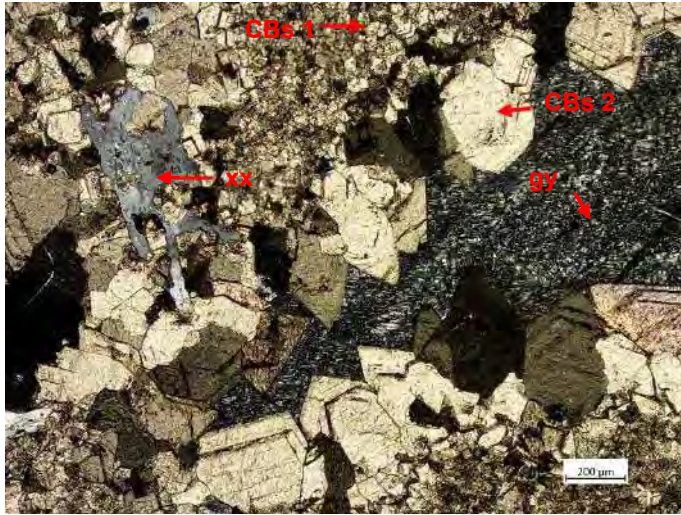


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Interior del clasto de caliza. Se compone de cristales de carbonatos, en algunos casos de dolomita, escasos cristales de baritina, cuarzo y anhidrita.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; slf: sulfuros; ba: baritina; dol: dolomita

FOTO 4

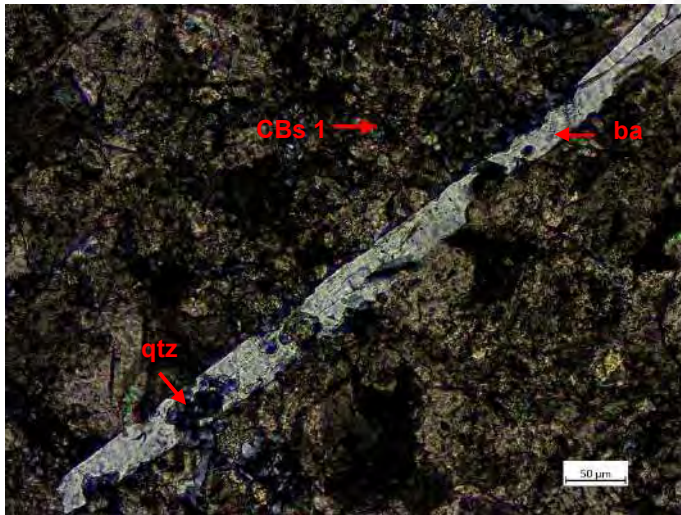


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. En el interior del clasto de caliza se pueden encontrar nódulos de yeso en cuyos contactos con la roca, recristalizan los carbonatos.

CBs: carbonatos; gy: yeso; xx

FOTO 5

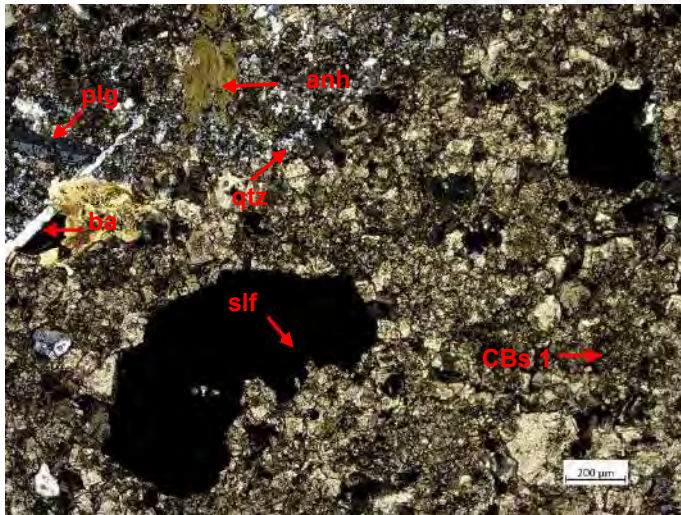


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristal de baritina crece sobre cristales de cuarzo y carbonatos que conforman el clasto de caliza.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; slf: sulfuros; ba: baritina

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Sulfuro con relicto de carbonato en su interior.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; slf: sulfuros; ba: baritina; dol: dolomita; plg: plagioclase


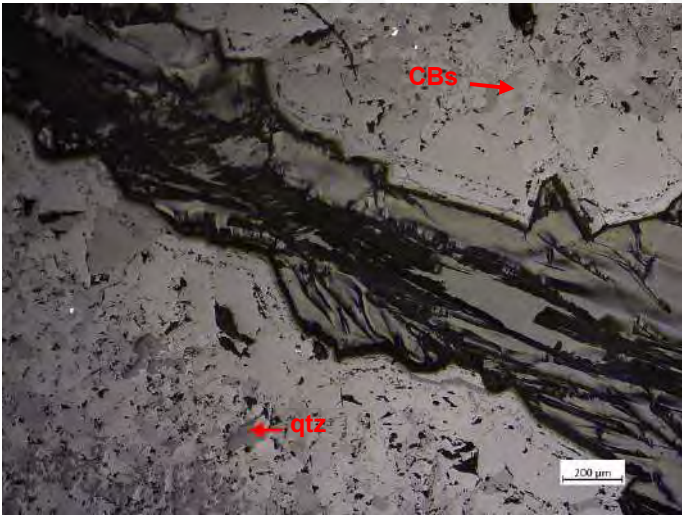
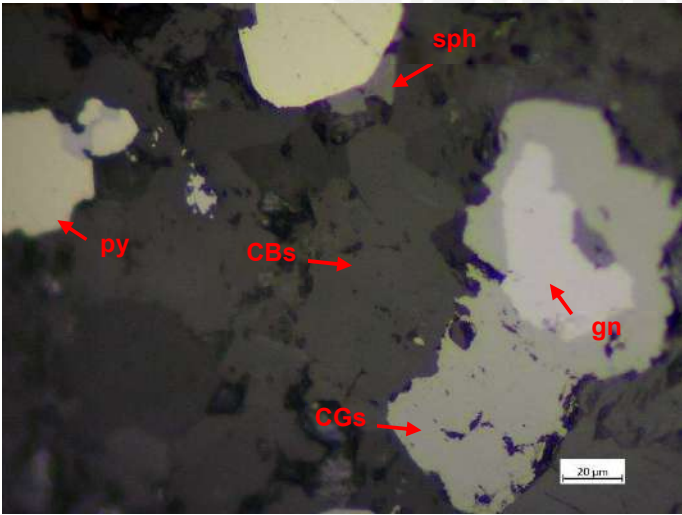
| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA     |                              |   |
|------------------------------|------------------------------|---|
| <b>Referencia:</b> 008-SP    | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Veta Morro Solar, cuerpo de reemplazamiento |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>           |                              |   |
| Brecha de caliza cristalina. |                              |   |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |  |  |
|-----------------------|--|--|
|                       | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos</p> <p><i>Abundante:</i> yeso, cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> pirita, esfalerita, calcopirita, galena, cobres grises</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección se compone de brecha de caliza cristalina, los clastos de caliza están formados por carbonatos y menor contenido de cuarzo, encontrándose carbonatos recristalizados en su contacto con la anhidrita/ yeso que conforman el relleno de las fracturas. Intercrecidos dentro de los granos de carbonatos y cuarzo, se encuentran diseminados escasos granos de sulfuros irregulares, entre ellos: pirita, esfalerita, cobres grises y galena. La pirita es el primer sulfuro en cristalizar, se presenta como cristales anhedrales parcialmente reemplazada por los demás sulfuros. La esfalerita se presenta como agregados irregulares reemplazados por cobres grises, y ambos por galena.</p> |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Escasos sulfuros diseminados en clastos de caliza.</p> <p>CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita</p>   |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Recristalización de los carbonatos en el contacto con las fracturas.</p> <p>Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos</p>   |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Piritas anhedrales reemplazadas por esfalerita y galena. Esfalerita como oclusión en cobres grises y reemplazados por galena a través de los intersticios de ambos minerales.</p> <p>CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p> |

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |                              |
|--|------------------------------|------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 009-SP  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Manto Ibet |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |                              |
| Veta de anhidrita tardía morada con pirita fina, rodeada por anhidrita blanca asociada a pirita gruesa (Zonación). |                              |                              |



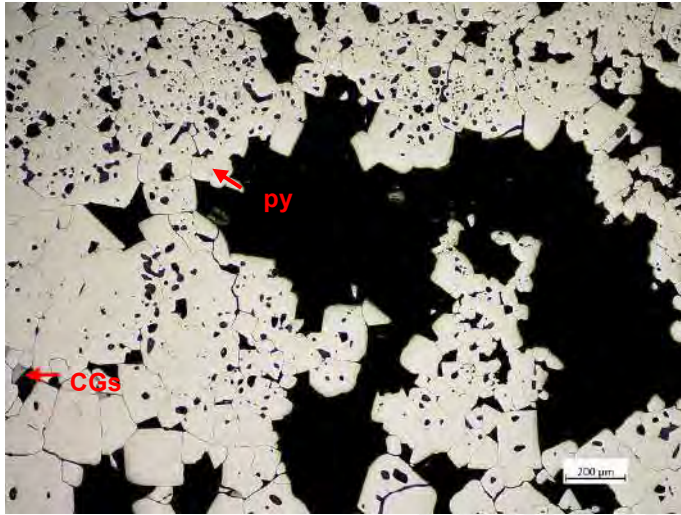
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> pirita</p> <p><i>Abundante:</i></p> <p><i>Escasos:</i> esfalerita, calcopirita, galena, cobres grises</p> <p><i>Muy escasos:</i> bornita, digenita, estannoidita, aikinita</p> | <p>La sección está compuesta casi en su totalidad por cristales intercrecidos de pirita; cuyos intersticios y porosidades han sido rellenados y han permitido su reemplazo por agregados masivos de esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena; y en cuyas porosidades además se pueden encontrar bornita, digenita y estannoidita. La esfalerita, al igual que los cobres grises, en algunos casos, posee inclusiones de estannoidita. La esfalerita se encuentra parcialmente reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de bordes e intersticios. La calcopirita se encuentra reemplazada por cobres grises y galena, y por aikinita. Y los cobres grises reemplazados por galena.</p> |



FOTO 1

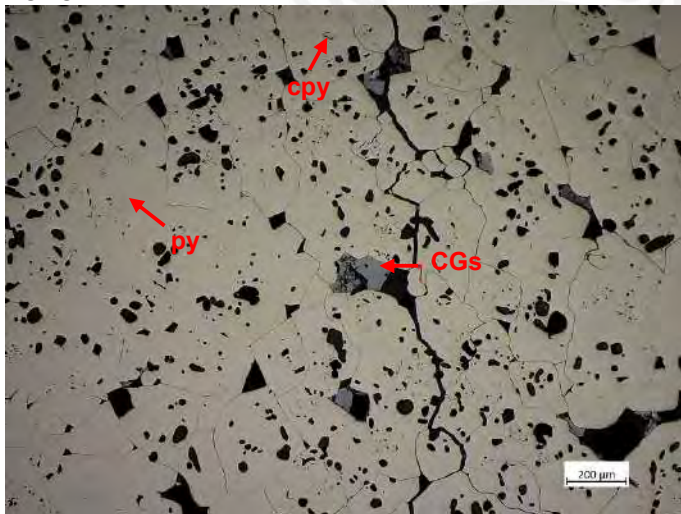


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita oquerosa con cristales intercrecidos.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: carbonatos

FOTO 2

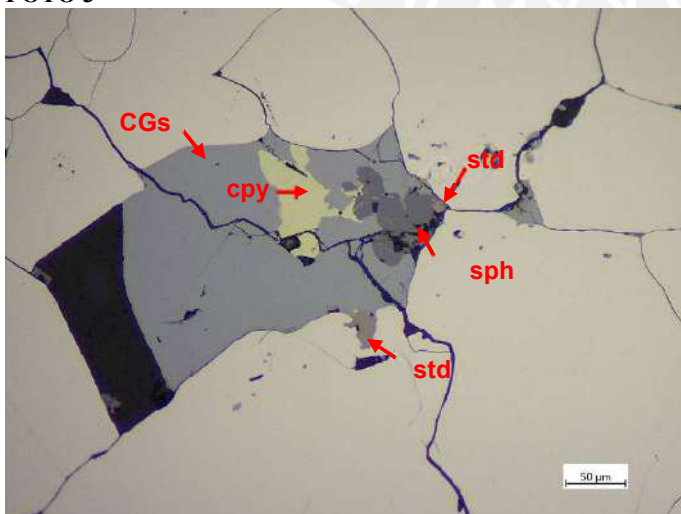


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de los cristales de pirita por calcopirita a través de porosidades, y por esfalerita, cobres grises y galena a través de bordes e intersticios.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 3

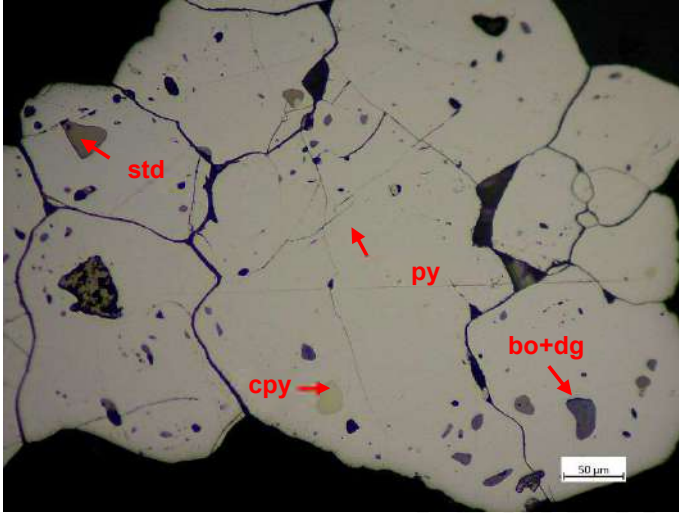


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento por estannoidita de pirita, esfalerita y cobres grises.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; std: estannoidita.

FOTO 4

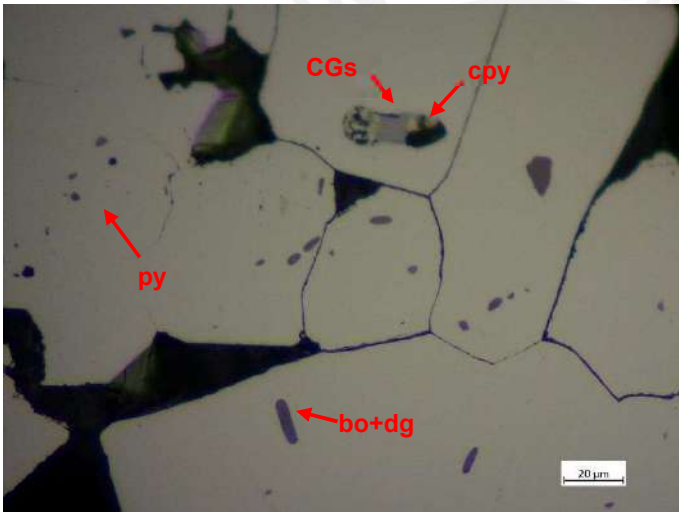


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de calcopirita, estannoidita, bornita y digenita.

Py: pirita; cpy: calcopirita; bo: bornita; dg: digenita; std: estannoidita

FOTO 5

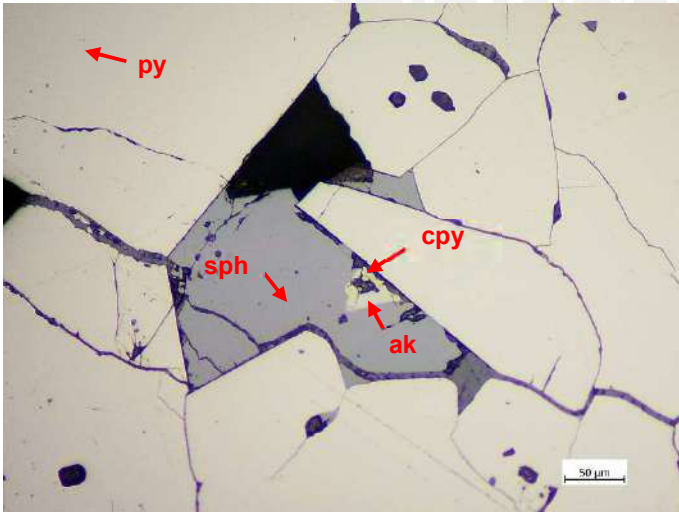


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Remplazamiento de calcopirita por cobres grises.

Py: pirita; cpy: calcopirita; CGs cobres grises; dg: digenita; std: estannoidita

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristal de aikinita reemplazando a la calcopirita.

Py: pirita; cpy: calcopirita; CGs cobres grises; ak: aikinita

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA                                     |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Referencia: 010-LP   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Manto Ibet |
| DESCRIPCIÓN  |                       |                       |
| Esfalerita acaramelada al techo del cuerpo de pirita gruesa. |                       |                       |

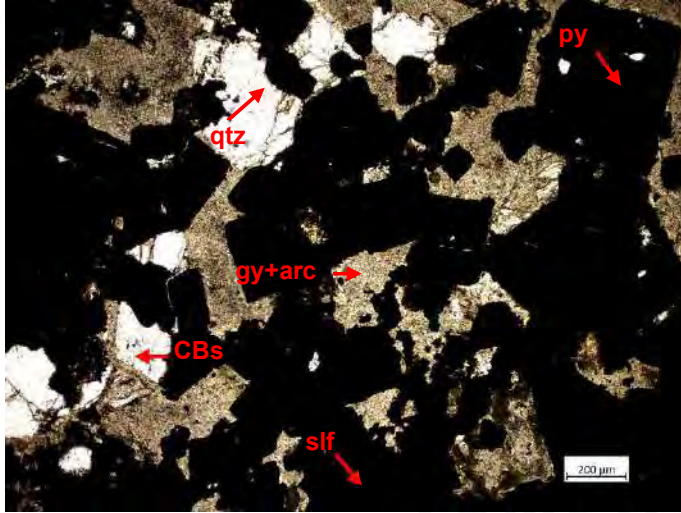


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |   |
|----------------|--|---|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> yeso, arcilla, pirita</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita, sulfuros, carbonatos</p> <p><i>Escasos:</i> anhidrita, cuarzo, oropimente</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección se compone de una matriz de yeso-arcilla formada por grandes cristales tabulares de yeso con bordes intercristales rectos y remanentes de anhidrita en su interior. En esta matriz, además, se encuentran sulfuros diseminados, carbonatos, cuarzo y oropimente.</p> <p>La anhidrita es el primer mineral en cristalizar, encontrándose como relicto dentro de los cristales de sulfuros y de cuarzo euhedral. La anhidrita que conformaba la matriz ahora está casi en su totalidad reemplazada por una asociación de yeso y arcillas. El cuarzo en la sección se presenta de dos tipos, como: cristales euhedrales (qtz 2, de hasta 200 <math>\mu\text{m}</math>) con remanentes de anhidrita en su interior, y cristales anhedrales gruesos (qtz 3, hasta 250 <math>\mu\text{m}</math>). El principalmente mineral que conforman los sulfuros presentes es la pirita, sin embargo, se ha reconocido menor presencia de esfalerita entre otros (para mayor detalle referirse a la descripción de la sección pulida 010-SPA, B). Reconociéndose relictos de anhidrita en el interior de los sulfuros. Posteriores a estos minerales tenemos a los carbonatos que se presentan anhedrales y en algunos casos con bordes euhedrales. Los carbonatos crecen entre los intersticios de los anteriores cristales y la matriz en, en parte corroyéndolos. Finalmente, cristaliza el oropimente presentando un hábito radial.</p> |

FOTO 1

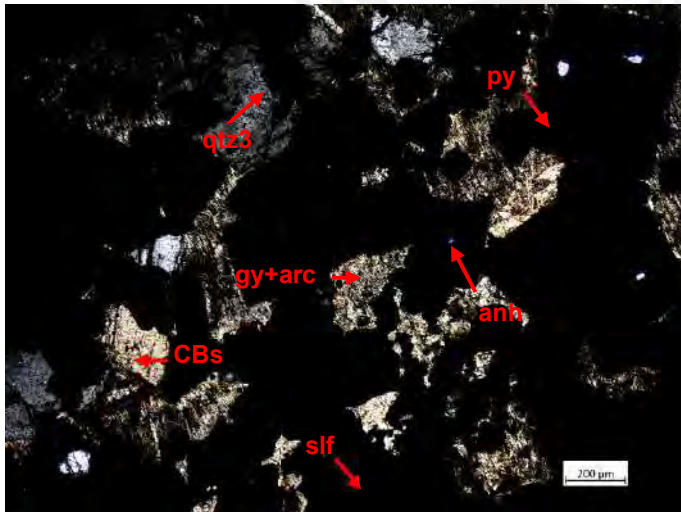


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros y carbonatos en una matriz de yeso con arcilla.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros; arc: arcillas

FOTO 2

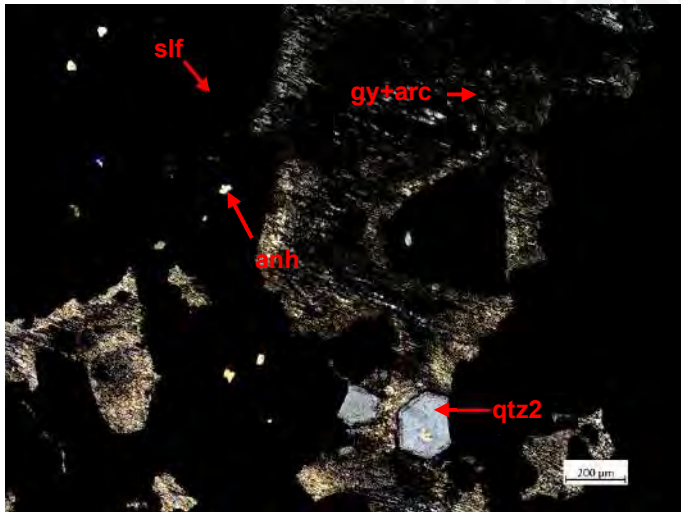


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Foto 1 en nicoles cruzados. Cristales de sulfuros presentan relictos de anhidrita en su interior.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros; arc: arcillas

FOTO 3

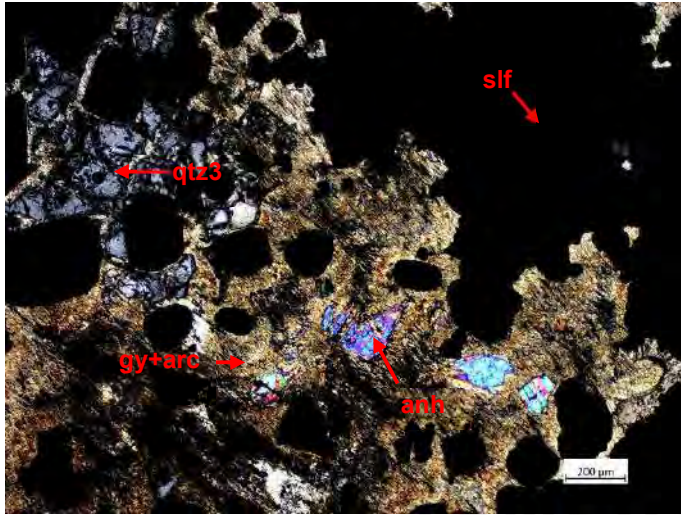


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de sulfuros y de cuarzo euhedral presentan oclusiones de anhidrita.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros; arc: arcillas

FOTO 4

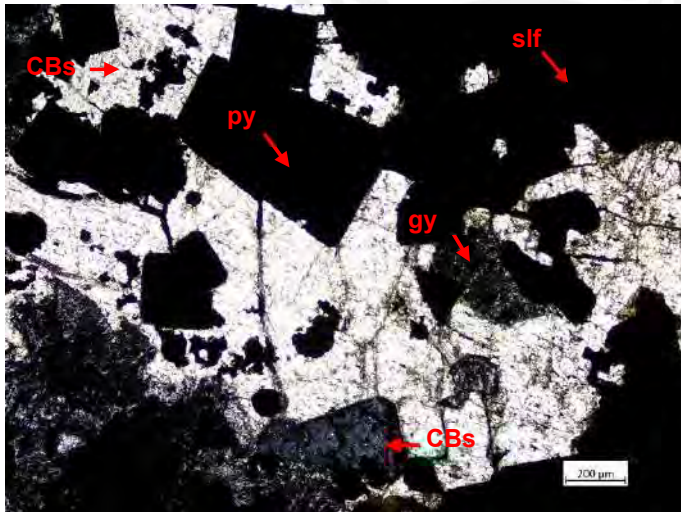


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Remanente de anh en cristal en la matriz de yeso y arcillas.

Anh: anhidrita; qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros; arc: arcillas

FOTO 5

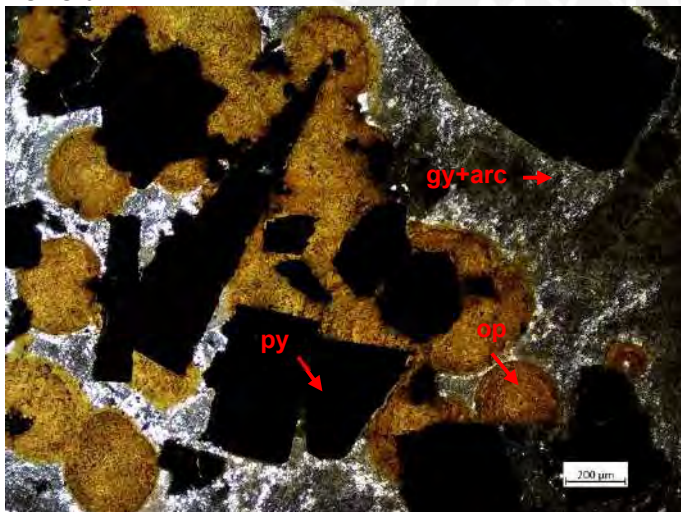


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Reemplazamiento de sulfuros por carbonatos.

CBs: carbonatos; gy: yeso; slf: sulfuros; py: pirita

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de oropimente con hábito radial, posteriores a los sulfuros.

Gy: yeso; py: pirita; arc: arcilla; op: oropimente

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA                                     |                              |                              |
|--|------------------------------|------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 010-SPA                                   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Manto Ibet |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |                              |
| Esfalerita acaramelada al techo del cuerpo de pirita gruesa. |                              |                              |

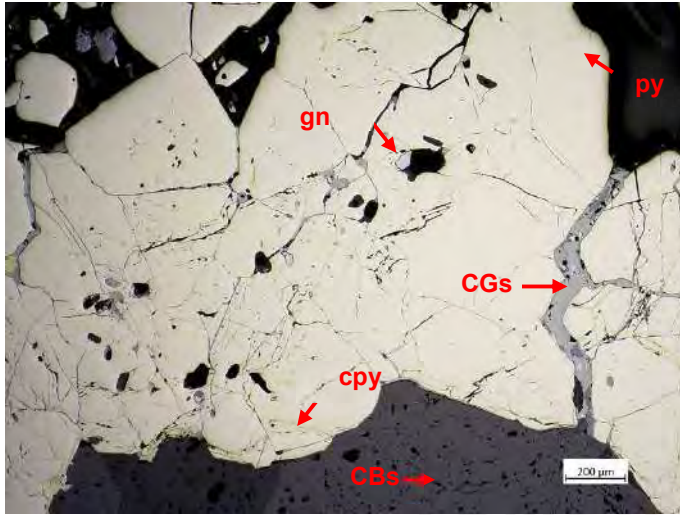


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |   |  |
|-----------------------|---|--|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> pirita, yeso</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita, cobres grises</p> <p><i>Escasos:</i> calcopirita, galena, carbonatos</p> <p><i>Muy escasos:</i> estannoidita, vinciennita, bornita, digenita</p> | <p>Amplias playas de cristales de pirita o cristales aislados diseminados en una matriz de yeso; con hábitos euhedrales, subhedrales y anhedrales que han sido en parte reemplazados a través de microfracturas, intersticios, porosidades y bordes, por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena; y por estannoidita, vinciennita, bornita y digenita a través de porosidades.</p> <p>La esfalerita se presenta como un agregado masivo de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. La esfalerita ha sido en parte reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de microfracturas, porosidades y bordes; y por estannoidita y vinciennita a través de porosidades.</p> <p>La calcopirita se presenta de tres tipos: (1) como diseminación en la esfalerita; (2) como inclusiones en la pirita que en algunos casos han sido reemplazados por bornita, digenita, covelita, estannoidita y vinciennita; y (3) como agregados masivos. Esta última ha reemplazado a la pirita y a la esfalerita y ha sido reemplazada por cobres grises y galena a través de microfracturas, porosidades y principalmente por bordes.</p> <p>Los cobres grises han sido reemplazados por galena a través de bordes y microfracturas; y por estannoidita y vinciennita a través de porosidades.</p> <p>La galena se presenta masiva reemplazando a los minerales mayoritarios previamente mencionados.</p> |

**FOTO 1**

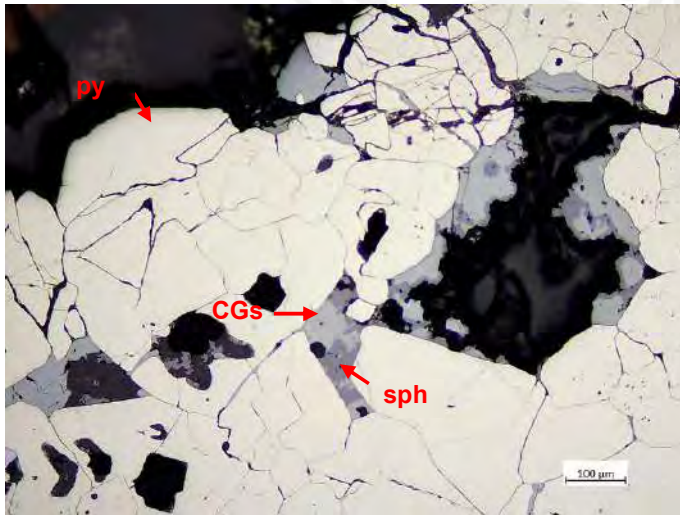


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Granos de pirita microfracturados y reemplazados por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena. Las vetillas de sulfuros son anteriores a la cristalización de carbonatos.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; CBs: carbonatos

**FOTO 2**

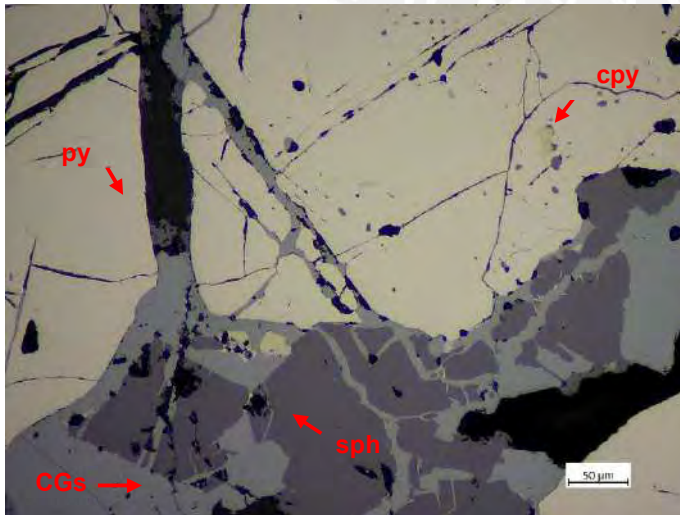


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de la esfalerita y pirita por cobres grises a través de los intersticios de ambas.

Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises

**FOTO 3**

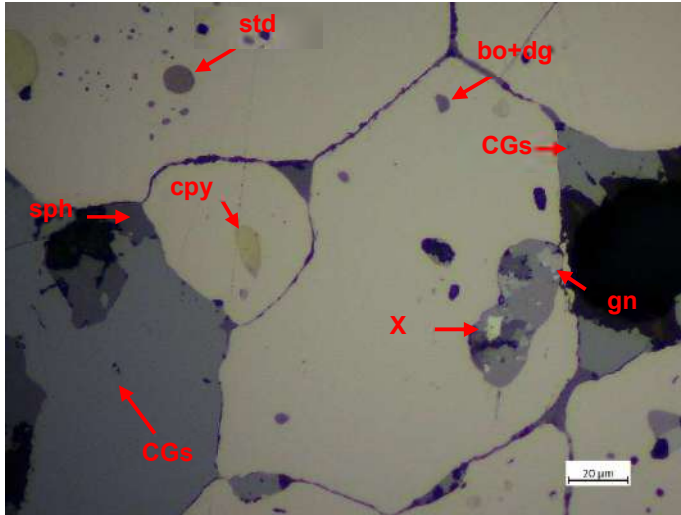


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de pirita y esfalerita a través de fracturas por cobres grises.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena

FOTO 4

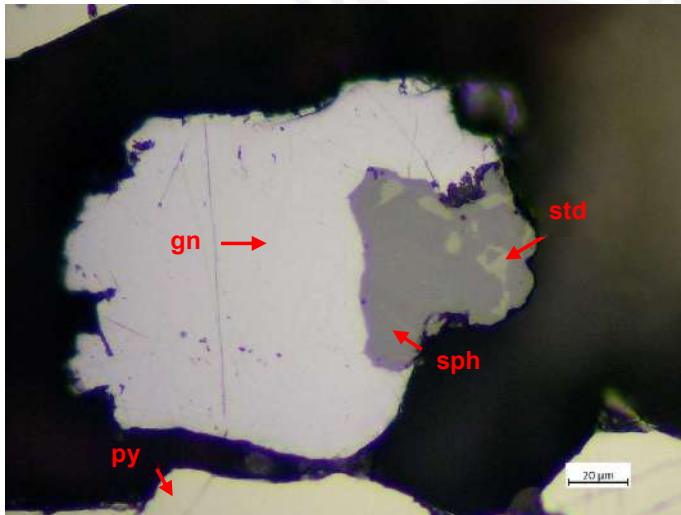


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de calcopirita, bornita, digenita y estannoidita en pirita. Telurio nativo en inclusion de esfalerita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita; dg: digenita; std: estannoidita; x: mineral no identificado

FOTO 5

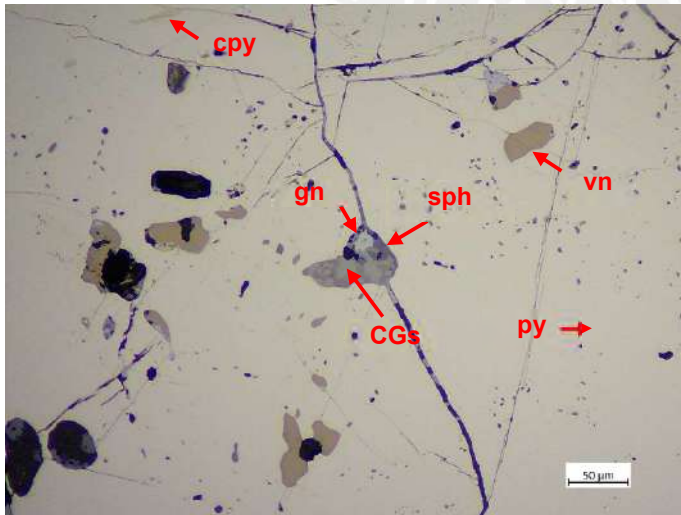


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusion de estannoidita en esfalerita reemplazada por galena.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; std: estannoidita

FOTO 6



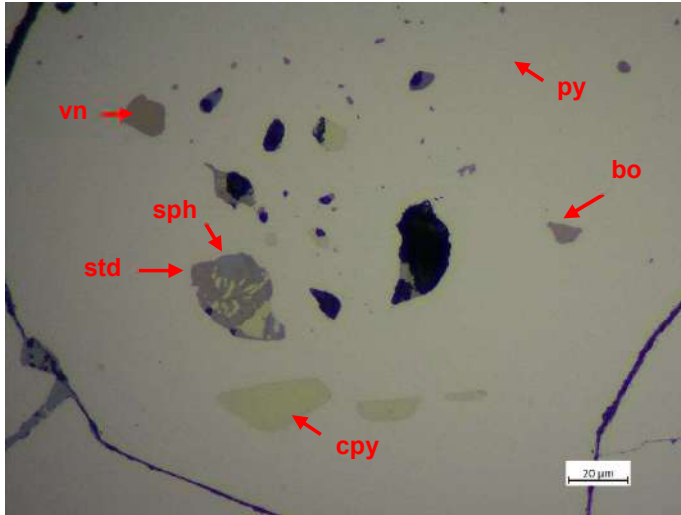
**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de vinciennita en pirita. Reemplazamiento de calcopirita, cobres grises, esfalerita y galena por vinciennita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita; dg: digenita; vn: vinciennita



**FOTO 7**

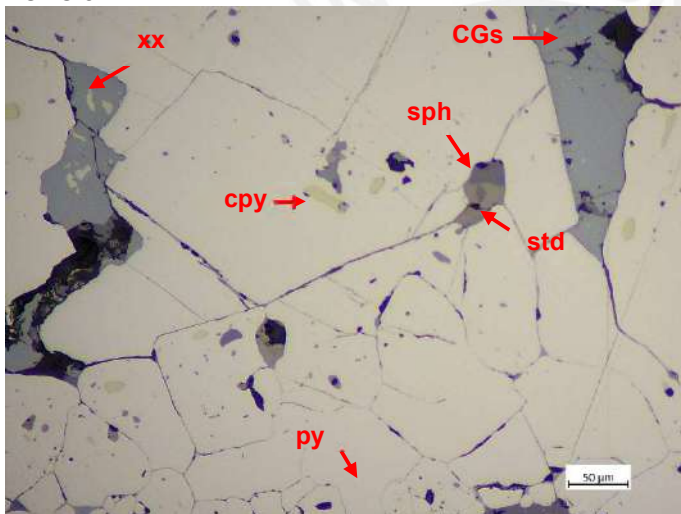


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de esfalerita por calcopirita y estannoidita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita; dg: digenita; std: estannoidita; vn: vinciennita

**FOTO 8**

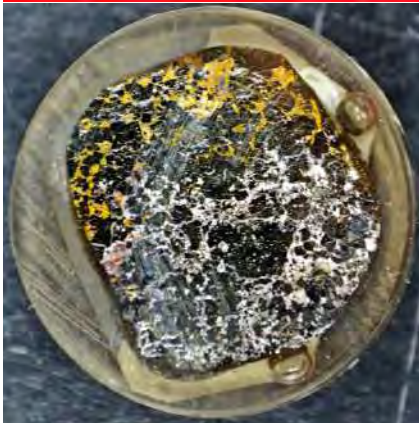


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de mineral no identificado en esfalerita.

Qtz: cuarzo; gy: yeso; CBs: carbonatos; py: pirita; std: estannoidita; xx: mineral no identificado

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA                                     |                              |                              |
|--|------------------------------|------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 010-SPB                                   | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Manto Ibet |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |                              |
| Esfalerita acaramelada al techo del cuerpo de pirita gruesa. |                              |                              |

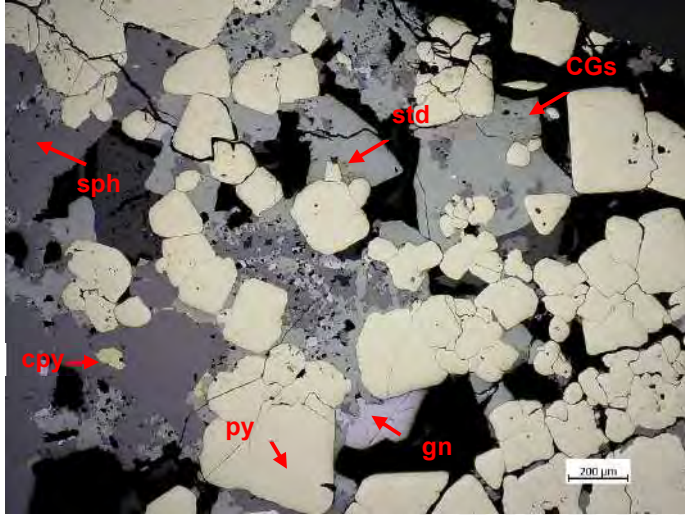


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |   |  |
|-----------------------|---|--|
|                       | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> pirita</p> <p><i>Abundante:</i> oropimente, yeso, esfalerita, cobres grises</p> <p><i>Escasos:</i> calcopirita, galena, carbonatos</p> <p><i>Muy escasos:</i> estannoidita, vinciennita; bornita, digenita</p> | <p>Diseminaciones de sulfuros en una matriz de yeso y carbonatos, y oropimente tardío. La pirita se presenta como cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales microfracturados y en algunos casos oquerosos. Su reemplazamiento se ha dado por esfalerita, cobres grises, calcopirita y galena, y a través de microfracturas, intersticios, porosidades y principalmente, borde. Y a través de bordes y microfracturas por bravoíta; y por porosidades por estannoidita, vinciennita, bornita y digenita.</p> <p>La esfalerita se presenta como agregados masivos irregulares, de dos tipos: limpia o con escasas diseminaciones de calcopirita, y con “chalcopyrite disease”. Ha sido reemplazada por calcopirita, cobres grises y galena a través de porosidades, microfracturas (en el caso de cobres grises), intersticios y bordes; y por estannoidita a través de porosidades.</p> <p>La calcopirita se presenta como agregados irregulares que han sido reemplazados por cobres grises y galena a través de bordes y porosidades.</p> <p>Los cobres grises se presentan como agregados masivos irregulares que han sido reemplazados por galena a través de porosidades, intersticios y bordes; y por estannoidita a través de porosidades.</p> <p>La galena se presenta como agregados masivos irregulares.</p> |

FOTO 1

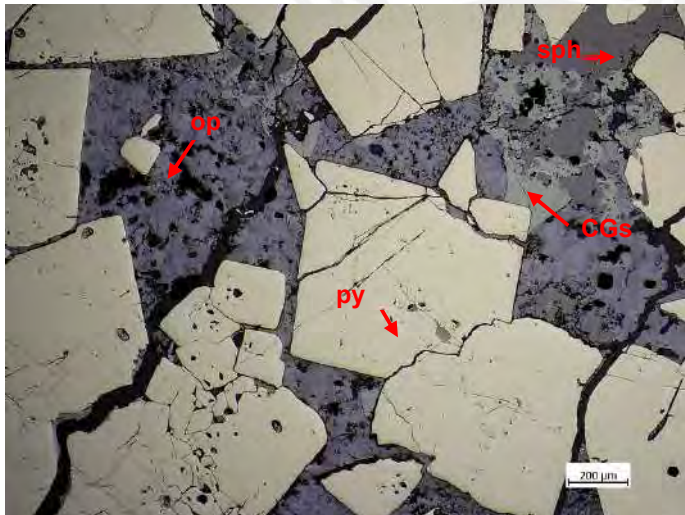


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales anhedrales a subhedrales de pirita, en algunos casos intercrecidos, parcialmente reemplazados por esfalerita, cobres grises y galena.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; std: estannoidita

FOTO 2

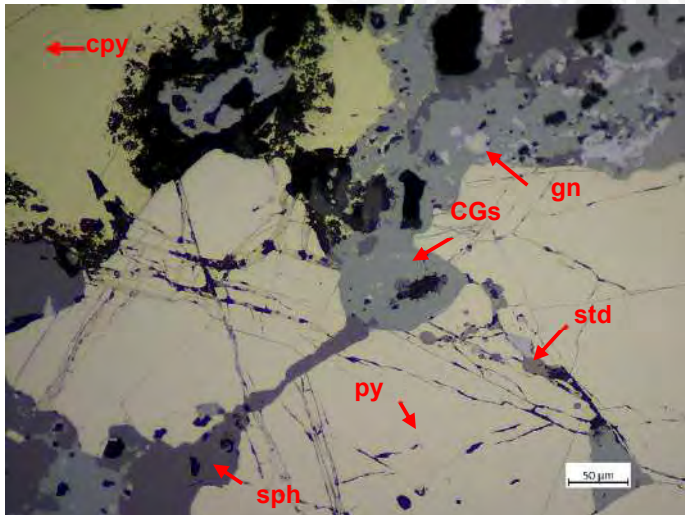


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Relleno de oropimente posterior a pirita, esfalerita y cobres grises.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; op: oropimente

FOTO 3

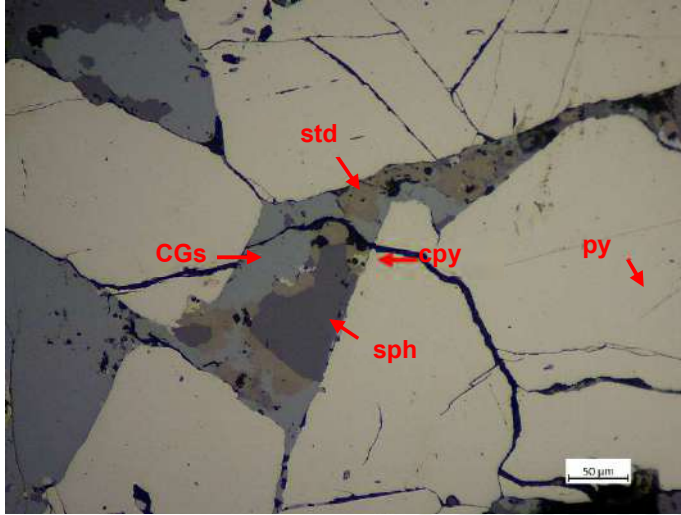


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Microfracturas de calcopirita en pirita anteriores a cristalización de cobres grises.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; std: estannoidita

FOTO 4

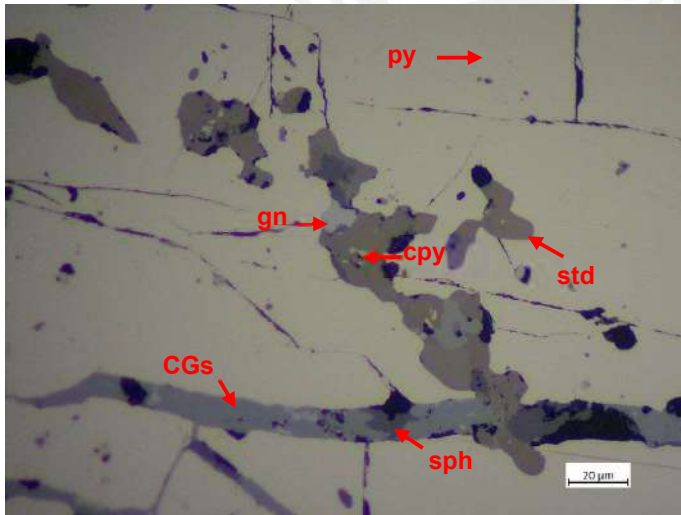


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de pirita, esfalerita, cobres grises y galena por estannoidita, en intersticios de los granos de pirita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; std: estannoidita

FOTO 5

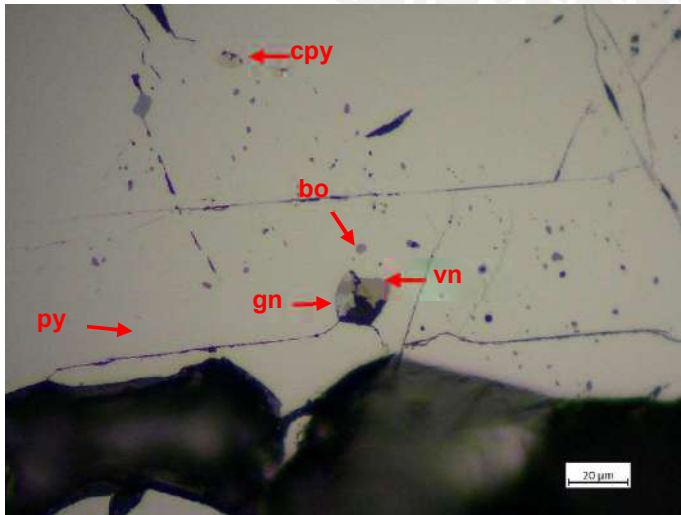


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de pirita, esfalerita, cobres grises y galena por estannoidita.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; std: estannoidita

FOTO 6

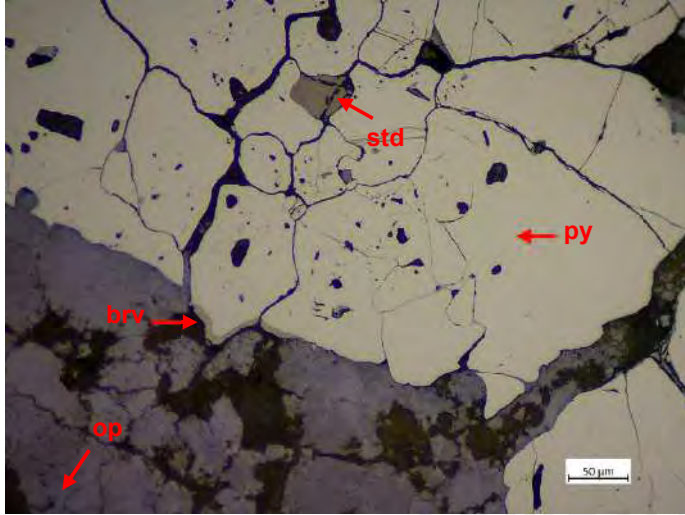


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de galena por vinciennita en porosidad de pirita.

Py: pirita; gn: galena; cpy: calcopirita; vn: vinciennita; bo: bornita

FOTO 7



**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de pirita por estannoidita a través de intersticios, y por bravoita desde bordes.

Py: pirita; std: estannoidita; op: oropimente; brv: bravoita



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Referencia: 011-LP   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Manto Ibet |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                       |                       |
| Brecha de caliza sobre cuyos clastos creció esfalerita schalenblenda, en una matriz de yeso. |                       |                       |



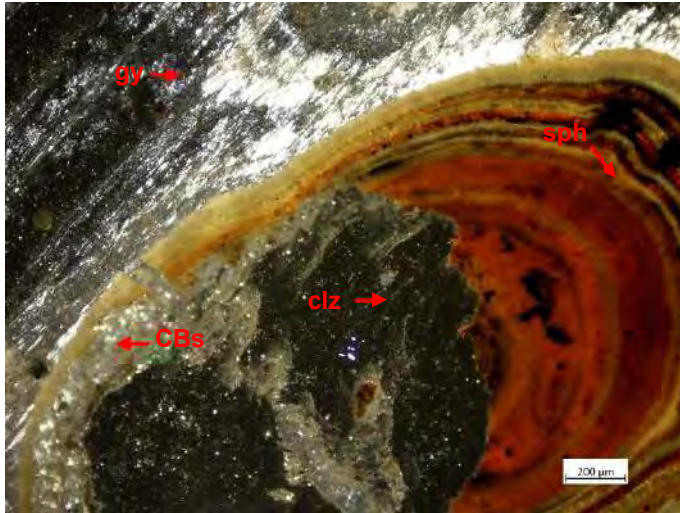
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |  |
|----------------|--|--|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> yeso, carbonato, esfalerita</p> <p><i>Abundante:</i></p> <p><i>Escasos:</i> galena</p> <p><i>Muy escasos:</i> anhidrita</p> | <p>La sección consiste en una roca caliza brechada y recrystalizada desde sus bordes y porosidades, sobre la cual crecieron cristales de esfalerita coloforme (“schalenblenda”) en una matriz de yeso, todo ello incluido en una matriz de yeso. Los clastos de caliza están compuestos por cristales finos y compactos de carbonatos, distinguiéndose que en su recrystalización presentan acompañados de una diseminación de sulfuros finos; sobre todo el conjunto crece las amplias playas de esfalerita “schalenblenda”. La esfalerita posee una textura coloforme, y ha sido mínimamente reemplazada por cristales anhedrales y cuhdrales de sulfuros.</p> |

| FOTO 1 | Comentarios:  |
|--------|---|
|        | <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita “schalenblenda” rodeando un clasto de caliza. Todo ello incluido en una matriz de yeso.</p> <p>Gy: yeso; sph: esfalerita; clz: caliza</p> |

FOTO 2

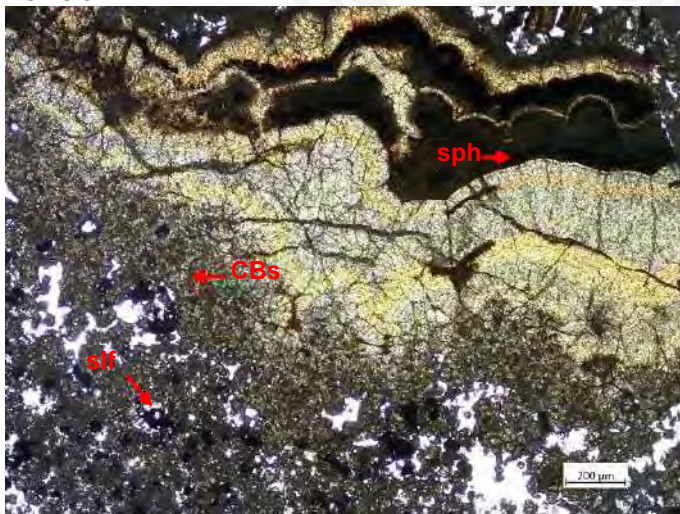


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Foto 1 a nicoles cruzados. Esfalerita “schalenblenda” rodeando un clasto de caliza en parte recrystalizado. Todo ello incluido en una matriz de yeso.

Gy: yeso; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; clz: caliza

FOTO 3

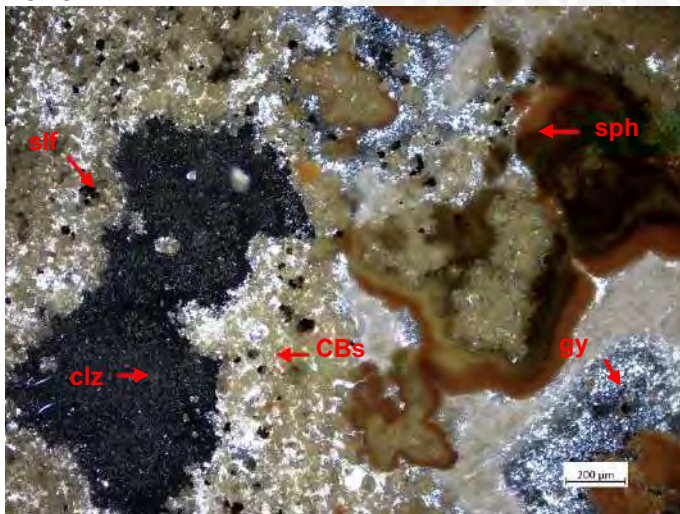


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Amplias playas de esfalerita “schalenblenda” creciendo sobre un conjunto de carbonatos recrystalizados con sulfuros diseminados.

CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 4

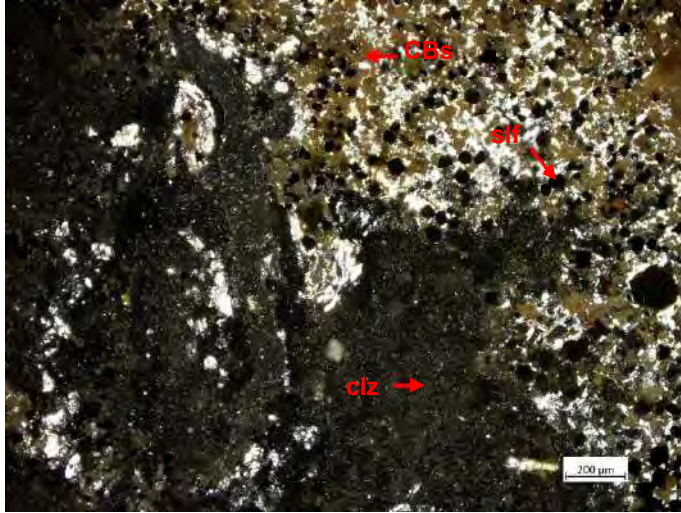


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Clasto de caliza recrystalizada desde sus bordes. En esta recrystalización se distinguen sulfuros diseminados. Posteriormente la esfalerita crece sobre los carbonatos recrystalizados. Y todo ello en una matriz de yeso.

Gy: yeso; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; clz: caliza

FOTO 5



**Comentarios:**

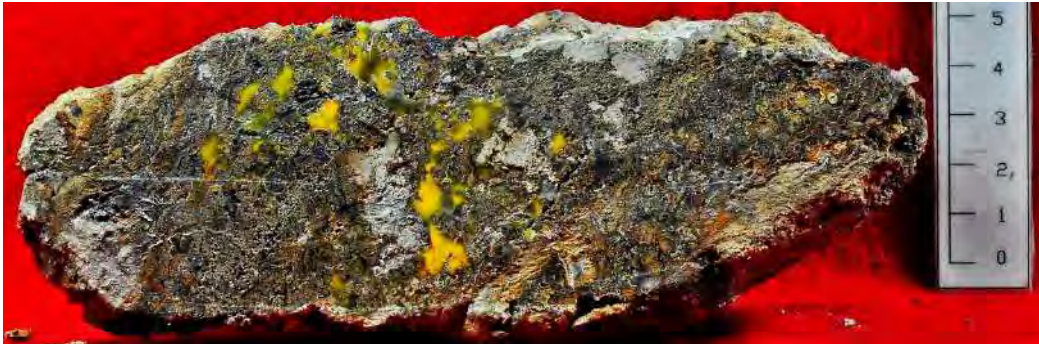
Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Clasto de caliza recristalizada desde sus bordes y porosidades. En esta recristalización se distinguen sulfuros diseminados.

Gy: yeso; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; clz: caliza





| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |                              |
|--|------------------------------|------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 011-SP  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Manto Ibet |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |                              |
| Brecha de caliza sobre cuyos clastos creció esfalerita schalenblenda, en una matriz de yeso. |                              |                              |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, de la cual se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN           |  |   |
|-----------------------|--|---|
|                       | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| <b>Mineralización</b> | <p><i>Muy abundante:</i> yeso, carbonato, esfalerita</p> <p><i>Abundante:</i> galena</p> <p><i>Escasos:</i> calcopirita, pirita</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>Amplias playas de esfalerita schalenblenda que crecen sobre clastos de caliza recristalizada, dentro de una matriz de yeso. La esfalerita posee una textura coliforme (“schalenblenda”), presenta oclusiones de cristales anhedaes de pirita y ha sido reemplazada parcialmente por calcopirita y principalmente por galena a través de sus intersticios y porosidades. La galena se presenta como cristales euhedrales, subhedrales y anhedaes.</p> |

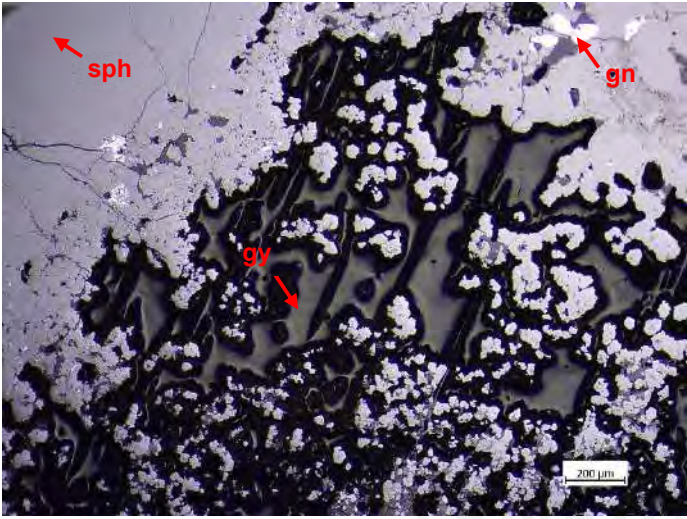
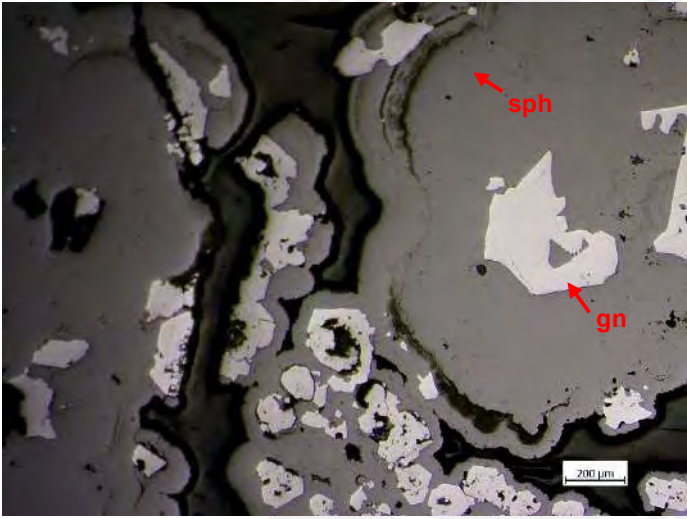
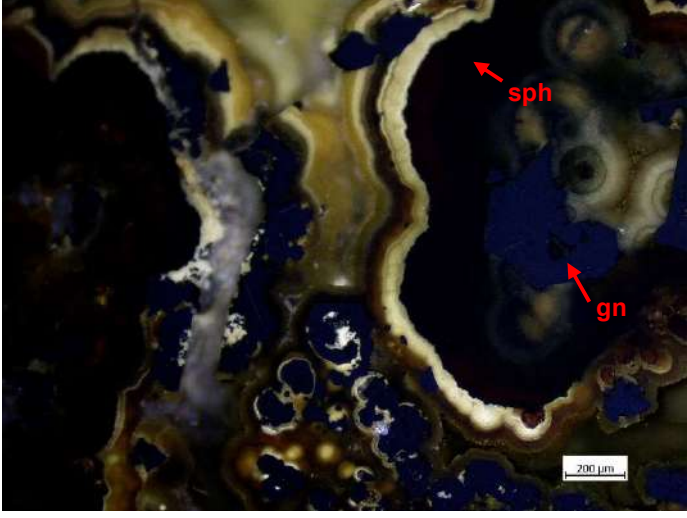
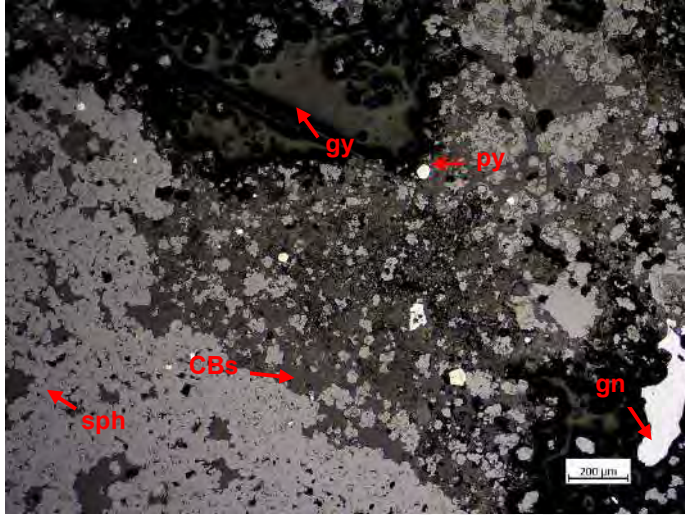
|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita formando amplias playas y diseminados sobre yeso posterior.</p> <p>Qtz: cuarzo; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita; CBs: carbonatos</p>               |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de esfalerita por galena a través de bordes e intersticios.</p> <p>Qtz: cuarzo; anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises</p> |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada de Foto 2 a nicoles cruzados. Esfalerita "schalenblenda".</p> <p>Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena</p>                       |

FOTO 4

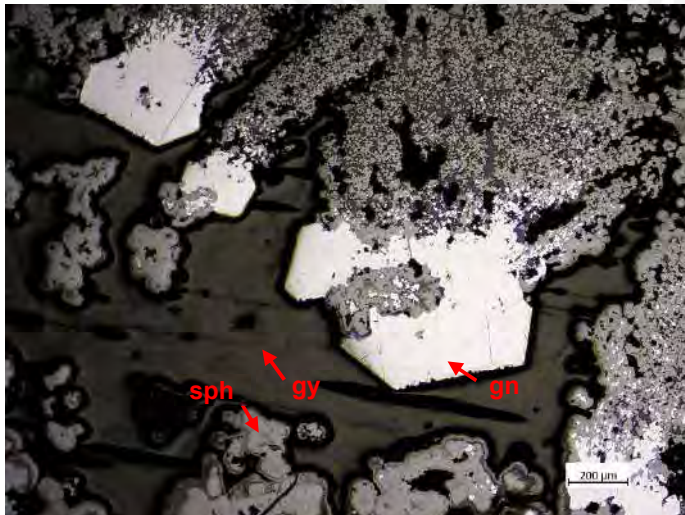


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita intercrecida entre cristales de carbonatos.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita

FOTO 5

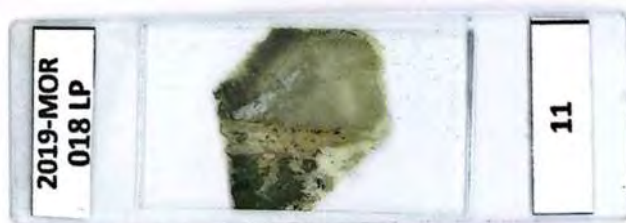


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales euhedrales de galena crecieron sobre esfalerita.

Sph: esfalerita; cpy: calcopirita

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                       |  |
|--|-----------------------|--|
| Referencia: 018-LP   | Profundidad: Nv. 4025 | Ubicación: Manto Ivette (La Pampa), Volcánico Catalina |
| DESCRIPCIÓN  |                       |  |
| Veta con zonas de: carbonatos y piritita, al contacto con la roca de caja y un nódulo de yeso. |                       |  |

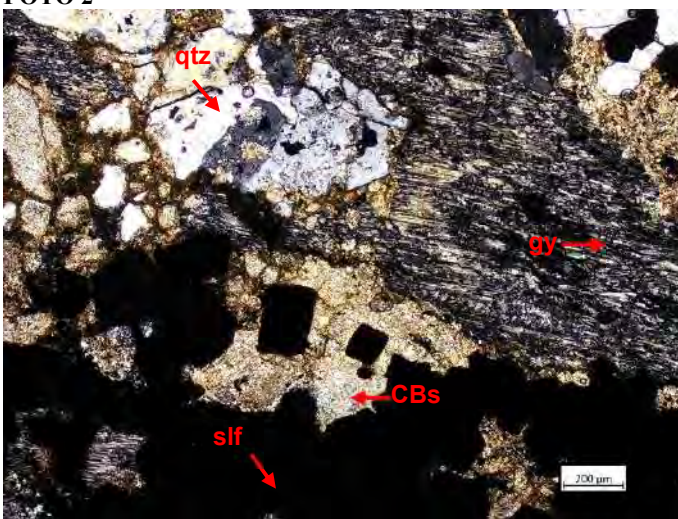
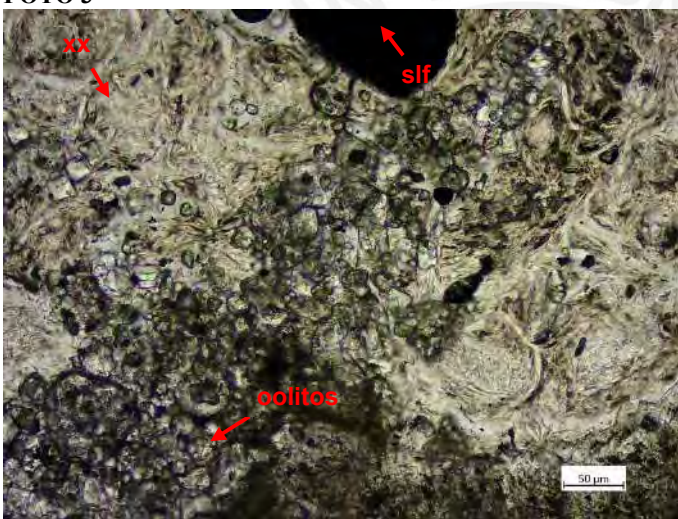
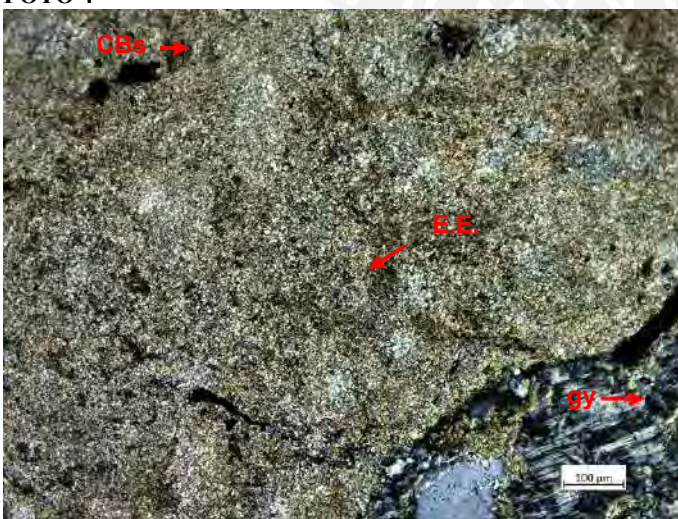


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del rectángulo verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

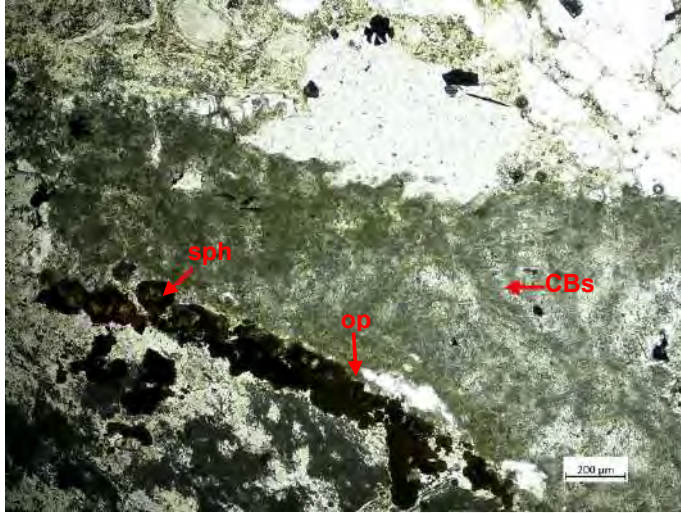
*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> yeso<br/> <i>Abundante:</i> sulfuros, carbonatos, sericita<br/> <i>Escasos:</i> cuarzo; esfalerita<br/> <i>Muy escasos:</i> oropimente</p> | <p>La sección corresponde a una microbrecha en contacto de un nódulo de yeso. La microbrecha está compuesta por clastos de caliza, en algunos casos sericitizados, dentro de una matriz de yeso. Dentro de los clastos de caliza se han reconocido oolitos, espículas de esponja y remanentes de anhidrita. Dentro de los clastos de caliza se encuentran diseminados en su interior cristales de sulfuros. Registrándose además en los bordes de los clastos, cristales de esfalerita y oropimente. Cristales de cuarzo grueso y anhedral se han registrado en el interior de los clastos de caliza y en la matriz de yeso.</p> |

| FOTO 1  | Comentarios:  |
|---|---|
| <p>A micrograph showing a detailed view of the rock sample's internal structure. Red arrows point to specific mineral grains labeled 'qtz', 'slf', and 'CBs'. A scale bar at the bottom right indicates 200 μm.</p> | <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Microbrecha de caliza sericitizados con cristales de sulfuros y cuarzo en su interior, en una matriz de yeso.</p> <p>Qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros; CBs: carbonatos</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 2</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Microbrecha de caliza sericitizados con cristales de sulfuros y cuarzo en su interior, en una matriz de yeso.</p> <p>Qtz: cuarzo; gy: yeso; slf: sulfuros; CBs: carbonatos</p> |
| <p><b>FOTO 3</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicols paralelos. Oolitos en el interior de los clastos de caliza sericitizados.</p> <p>Slf: sulfuros; xx: ¿sericita?</p>   |
| <p><b>FOTO 4</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicols paralelos. Espículas de esponja en el interior de los clastos de caliza.</p> <p>Gy: yeso; CBs: carbonatos; E.E.: espículas de esponja</p>  |

**FOTO 5**

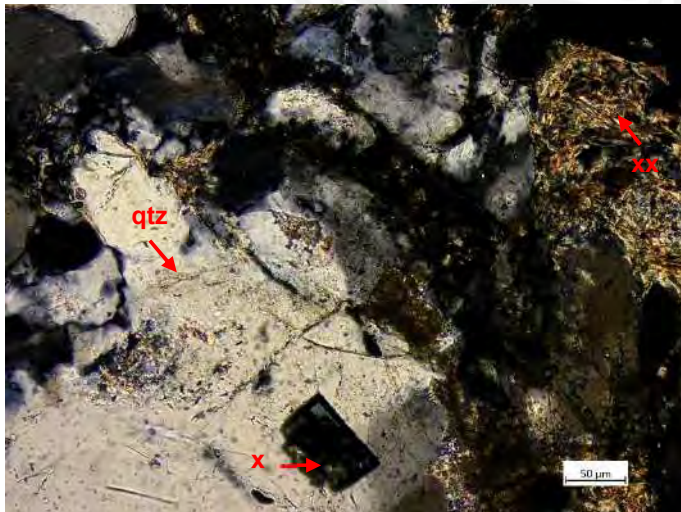


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de esfalerita y oropimente crecieron sobre los clastos de caliza.

CBs: carbonatos; sph: esfalerita; op: oropimente

**FOTO 6**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de cuarzo con inclusión de mineral x, y alterados por sericita.

Qtz: cuarzo; x: mineral no reconocido; xx: sericita

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |   |
|--|------------------------------|---|
| <b>Referencia:</b> 018-SP  | <b>Profundidad:</b> Nv. 4025 | <b>Ubicación:</b> Manto Ivette (La Pampa), Volcánico Catalina |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |   |
| Veta con zonas de carbonatos y pirita. En la roca de caja, se registra un halo de disseminación de pirita euhedral (1 mm). |                              |   |

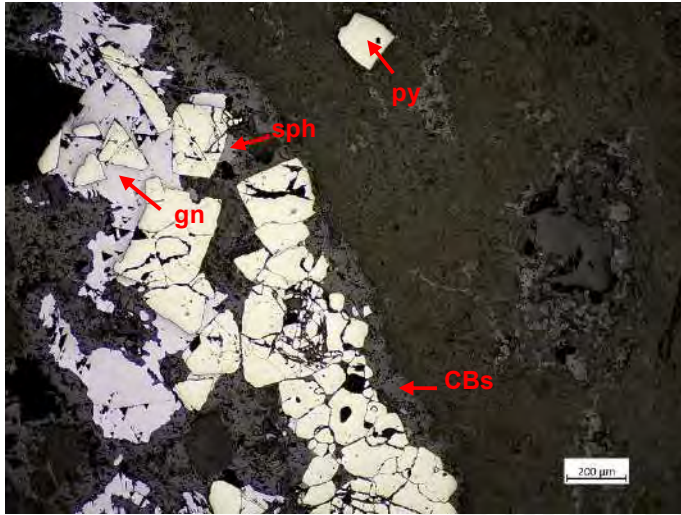


*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida.

*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonato; sericita, pirita</p> <p><i>Abundante:</i> rejalgar, cuarzo</p> <p><i>Escasos:</i> cobres grises, galena, esfalerita</p> <p><i>Muy escasos:</i> calcopirita, bornita, bravoita</p> | <p>La sección corresponde a una veta de pirita que corta una roca caliza. Debido al ingreso de esta veta se ha generado una microbecha en esta zona, en una matriz de yeso. Los cristales de pirita son los primeros sulfuros que cristalizan, se presentan de dos formas: formando la veta y como disseminados en el interior de los clastos de caliza. La veta está conformada por cristales euhedrales a subhedrales de pirita gruesa (hasta 0.5 cm) e intercrecida. Estos cristales han sido alterados a través de intersticios, microfracturados, inclusiones, y principalmente bordes, por: galena, esfalerita, cobres grises y bravoita; y a través de inclusiones por bornita. La calcopirita se presenta de dos formas: como “chalcopyrite disease” y como inclusiones en la pirita. La esfalerita se presenta como agregados irregulares de dos tipos: limpia o con “chalcopyrite disease”; en ambos casos parcialmente reemplazados por cobres grises y galena a través de bordes e intersticios. Los cobres grises se presentan como agregados irregulares parcialmente reemplazados por galena. La galena se presenta como cristales subhedrales a anhedrales. Dentro de la caliza, se encuentran disseminados cristales euhedrales a anhedrales de pirita, en algunos casos intercrecida con cristales de cuarzo.</p> |

FOTO 1

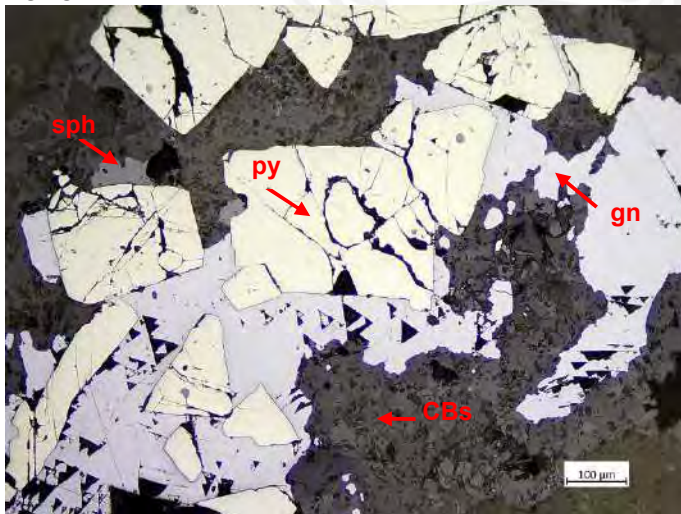


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Veta de pirita reemplazada por galena desde bordes dentro de una matriz de carbonatos, y al contacto con roca de caja con pirita diseminada.

Py: pirita; sph: esfalerita; CBs: carbonatos

FOTO 2

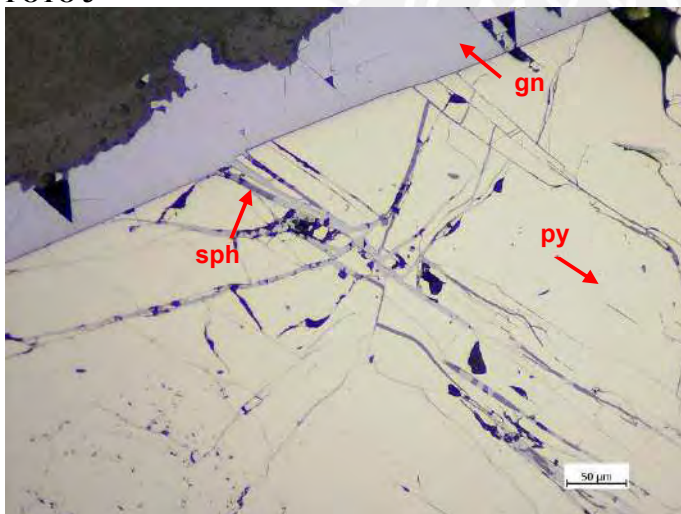


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicols paralelos. Cristales subhedrales de pirita reemplazados por galena principalmente desde bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena; CBs: carbonatos

FOTO 3



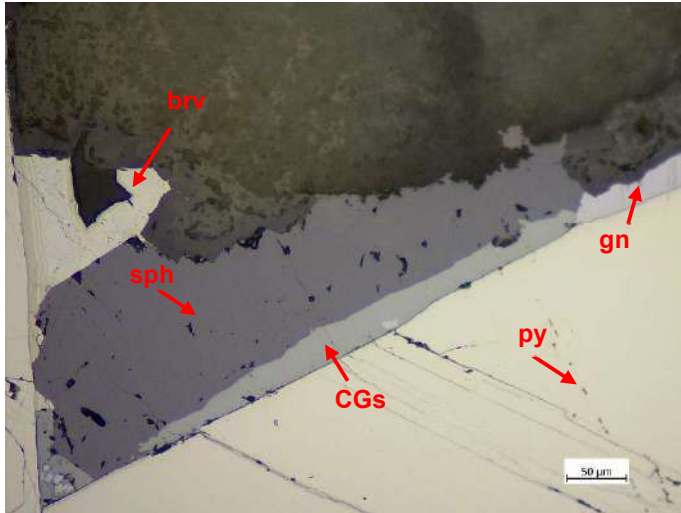
**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicols paralelos. Cristales de pirita reemplazados a través de bordes por galena, y microfracturas por galena y esfalerita.

Anh: anhidrita; py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena



FOTO 4

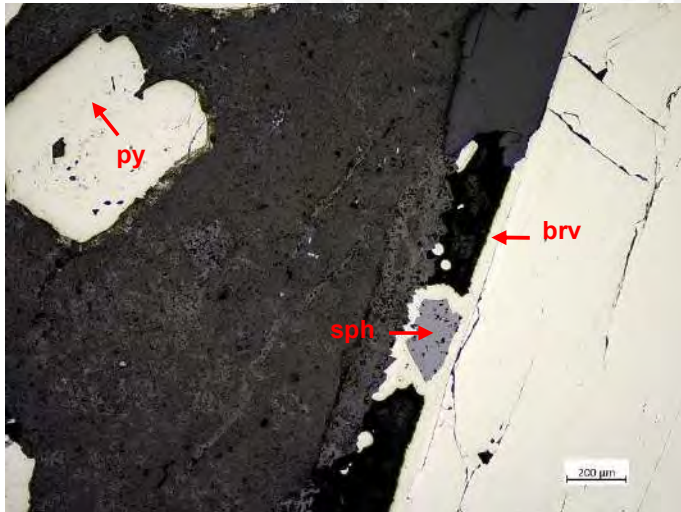


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicols paralelos. Esfalerita reemplazada por cobres grises a través de intersticios y por bravoíta desde bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena; cpy: calcopirita; bo: bornita

FOTO 5

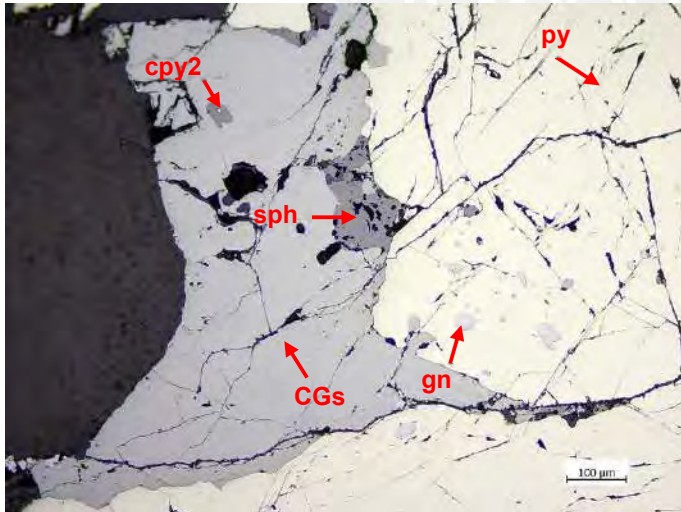


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Bravoíta como corona de pirita, presentando como remanente cristal de esfalerita en su interior

Py: pirita; sph: esfalerita; brv: bravoíta

FOTO 6

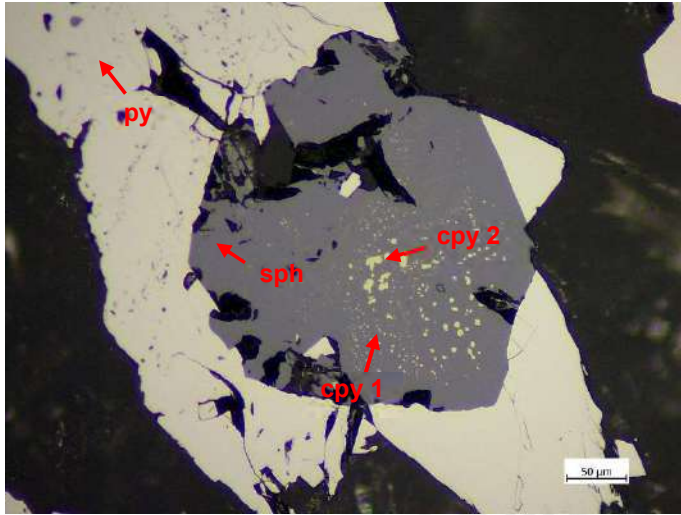


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicols paralelos. Pirita reemplazada por esfalerita y cobres grises a través de bordes, y por galena a través de porosidades.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: Cobres grises; gn: galena

FOTO 7

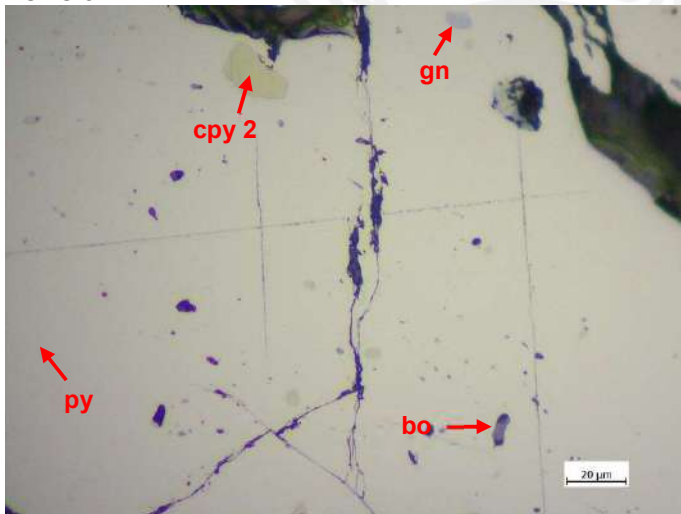


**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristal de esfalerita subhedral con “chalcopyrite disease” (cpy 1) e inclusiones de calcopirita (cpy 2).

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita

FOTO 8

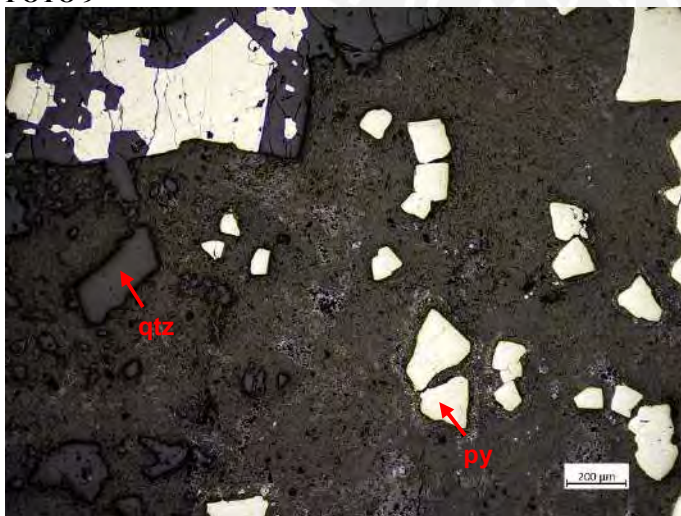


**Comentarios:**

Vista al objetivo 50x en luz polarizada a nicoles paralelos. Inclusiones de calcopirita, galena y bornita en el interior de cristales de pirita.

Py: pirita; cpy: calcopirita; gn: galena; bo: bornita

FOTO 9



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales subhedrales, en algunos casos intercrecidos con cuarzo diseminados en la roca de caja

Qtz: cuarzo; py: pirita.

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                       |                        |
|--|-----------------------|------------------------|
| Referencia: 021-SP   | Taladro: DDH-049-U-18 | Corrida: 204.30-204.40 |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                       |                        |
| Clastos con diseminación de esfalerita, con posterior cristalización de carbonatos coloformes, seguidos de carbonatos con textura en peine, en contacto con un nódulo de yeso. |                       |                        |

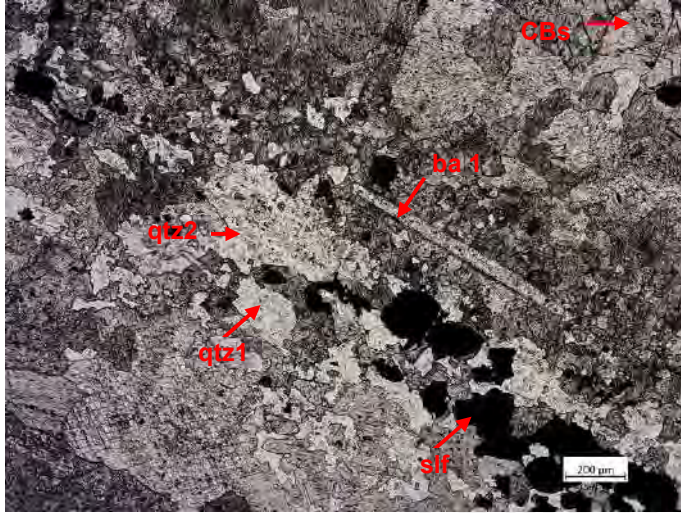


**Arriba:** Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

**Izquierda:** Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |  |
|----------------|--|--|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> yeso<br/> <i>Abundante:</i> carbonatos, barita<br/> <i>Escasos:</i> esfalerita, sulfuros<br/> <i>Muy escasos:</i></p> | <p>La lámina consiste en bandas de carbonatos crecidas sobre un agregado planar de cuarzo fino de bordes ondulantes, cuarzo grueso, cristales tabulares de baritina y cristales anhedrales de sulfuros; en contacto con un nódulo de yeso. Los carbonatos crecen en bandas sucesivas dando al conjunto una textura coloforme, cada banda está conformada por cristales anhedrales de carbonatos con remanentes de cuarzo; diferenciándose la última banda por contener carbonatos de habido romboidal similar a una textura de peine. Dentro de las bandas de carbonatos y entre ellas, se encuentran cristales anhedrales de sulfuros, principalmente de esfalerita, dentro de los cuales se registran cristales de carbonatos y cuarzo como remanentes, además de cristales de cuarzo fino sobre los cristales de sulfuro, casi rodeándolos. Sobre toda esta asociación han crecido cristales de baritina fino (hasta 0.6 mm) en la base y gruesos (hasta 6.4 mm) sobre ellos. Los cristales gruesos de baritina presentan en su interior remanentes de carbonatos finos; y sobre sus cristales y entre ellos han precipitado por gravedad cristales finos de sulfuros y carbonatos, y han crecidos cristales finos de baritina. Los cristales translúcidos presentan en conjunto extinción ondulante.</p> |

FOTO 1

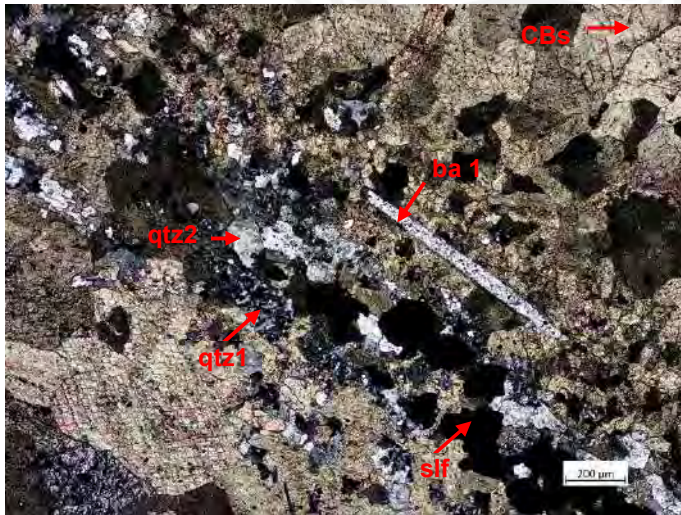


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Agregados de cuarzo anhedral fino, cuarzo anhedral grueso, sulfuros y baritina sobre los crecen cristales anhedrales de carbonatos.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; ba: baritina; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 2



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada de la Foto 1 a nicoles cruzados. Agregados de cuarzo anhedral fino, cuarzo anhedral grueso, sulfuros y baritina sobre los crecen cristales anhedrales de carbonatos.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; ba: baritina; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 3

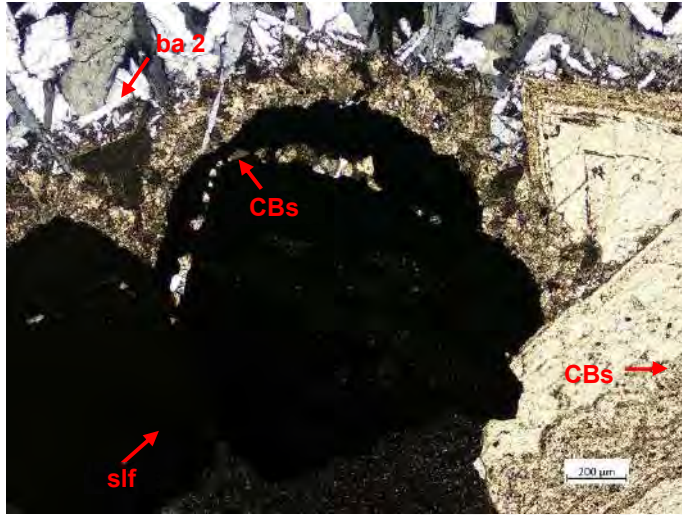


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristal anhedral de sulfuro con relictos de carbonatos en su interior.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; ba: baritina; slf: sulfuros

FOTO 4

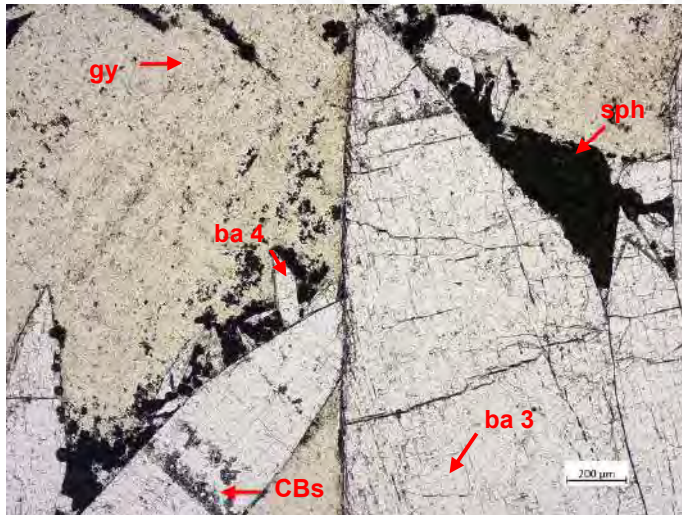


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Cristales de sulfuros con inclusiones de carbonatos orientados según sus planos de clivaje. Sobre los carbonatos, se encuentran cristales finos de baritina.

CBs: carbonatos; qtz: cuarzo; ba: baritina; slf: sulfuros

FOTO 5

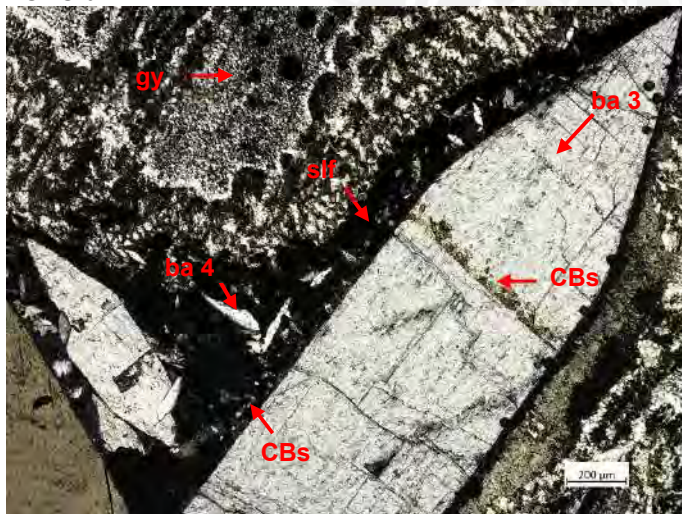


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Sobre los cristales tabulares de baritina y entre ellos, han precipitado gravitacionalmente esfalerita y sulfuros, y han crecido cristales de baritina de menor tamaño.

CBs: carbonatos; ba: baritina; gy: yeso; py: pirita; sph: esfalerita

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols cruzados. Remanentes de carbonatos al interior de los cristales tabulares de baritina. Sobre la baritina y entre sus cristales, han precipitado gravitacionalmente sulfuros y carbonatos, y han crecido cristales de baritina de menor tamaño.

CBs: carbonatos; ba: baritina; gy: yeso; slf: sulfuros

### DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

**Referencia:** 021-SP    **Taladro:** DDH-049-U-18    **Corrida:** 204.30-204.40

#### DESCRIPCIÓN

Clastos con diseminación de esfalerita, con posterior cristalización de carbonatos coloformes, seguidos de carbonatos con textura en peine, al contacto con nódulos de yeso.



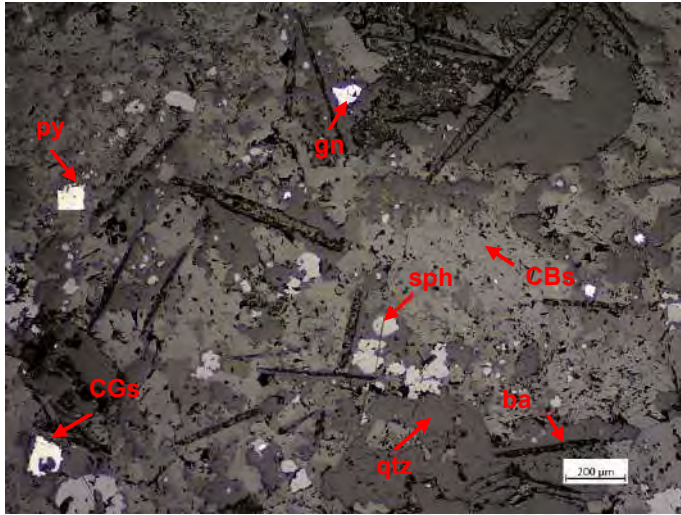
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo verde el lugar donde se realizó la sección pulida.



*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos, cuarzo</p> <p><i>Abundante:</i> baritina, esfalerita</p> <p><i>Escasos:</i> pirita, galena</p> <p><i>Muy escasos:</i> calcopirita, cobres grises</p> | <p>La sección corresponde al contacto entre un nódulo de yeso y carbonatos coloformes que crecen de manera radial a un clasto conformado por de cristales anhedrales de cuarzo, cristales aciculares de baritina, carbonatos anhedrales y sulfuros. Los sulfuros que componen el clasto consisten en cristales subhedrales de pirita reemplazada por cobres grises, cobres grises, galena, y principalmente cristales de esfalerita anhedrales, en algunos casos, escasamente reemplazados por calcopirita. Inmediatamente sobre este agregado y antes de las bandas de carbonatos se encuentran cristales anhedrales de cuarzo intercrecidos con cristales anhedrales de esfalerita, con escasas inclusiones de calcopirita, y galena; la primera reemplazada en algunos casos por la segunda. Las bandas concéntricas de carbonatos consisten en bandas de cristales anhedrales de carbonatos, y bandas de cristales euhedrales de hábito romboidal. Sobre las bandas de cristales euhedrales de carbonatos se han reconocido cristales de cuarzo anhedrales que crecen sobre los cristales de carbonatos. Además, dentro de estas bandas se encuentran cristales de sulfuros con inclusiones de cuarzo y con cristales de cuarzo sobre ellos. La barita crece al final orientadas sobre las bandas de carbonatos. En la parte inferior de la sección se encuentra un cristal de esfalerita que crece entre los cristales de carbonatos.</p> |

**FOTO 1**

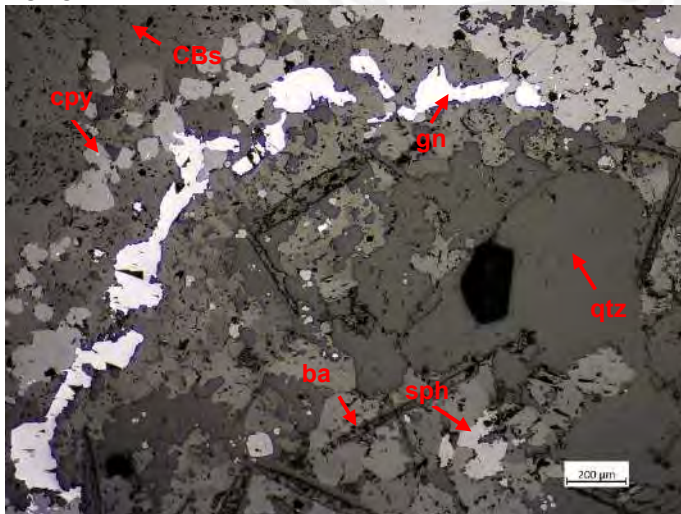


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Agregado de cuarzo anhedral, baritina acicular, sulfuros (pirita reemplazada por cobres grises, esfalerita, galena) y carbonatos.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; ba: baritina; py: piritita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena

**FOTO 2**

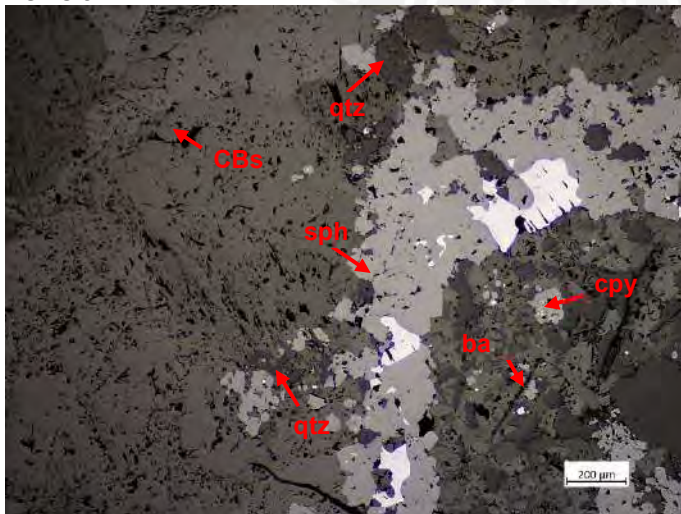


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sobre el agregado de minerales de la Foto 1, crecen de manera concéntrica cristales de esfalerita con escasas diseminaciones de calcopirita, y galena. Siendo la esfalerita reemplazada por la galena.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; ba: baritina; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; gn: galena

**FOTO 3**

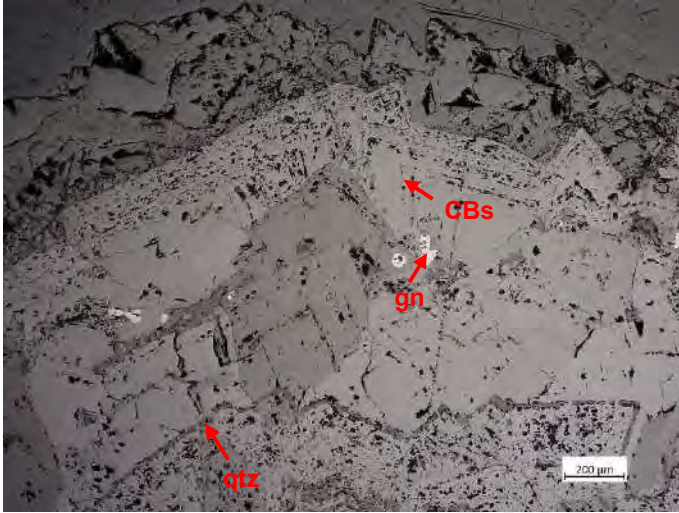


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sobre el ribete de esfalerita y galena crecen primero los cristales anhedrales de carbonatos.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; ba: baritina; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; gn: galena

FOTO 4

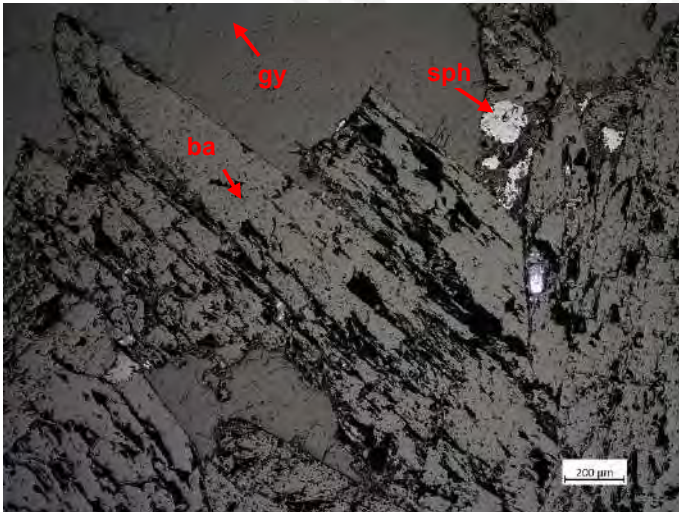


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Bandas concéntricas de cristales euhedrales con hábito rombooidal de carbonatos, sobre los cuales se orientan cristales anhedrales finos de cuarzo.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; gn: galena

FOTO 5

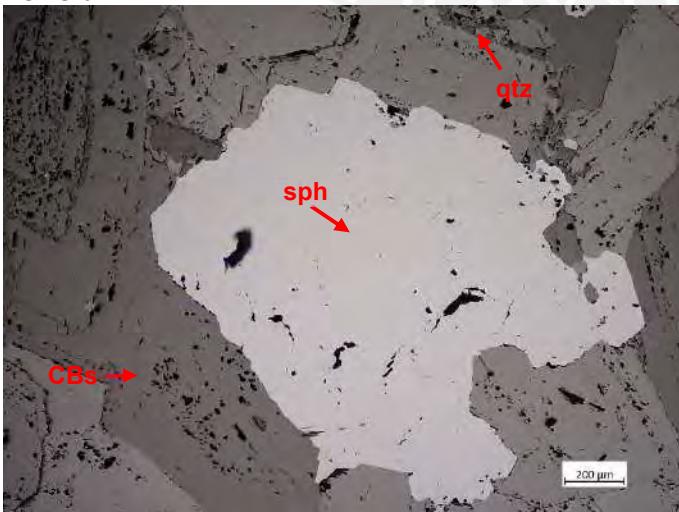


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales tabulares de baritina en contacto con el nódulo de yeso.

Ba: baritina; gy: yeso; sph: esfalerita

FOTO 6



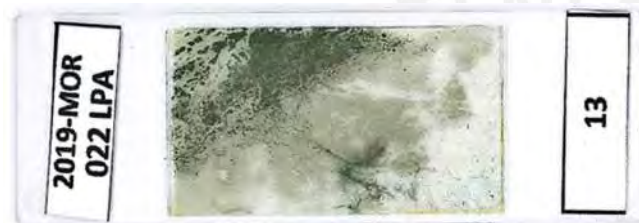
**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristal anhedral de esfalerita crece a través de los intersticios de los cristales de carbonatos, presentando relictos de estos en su interior, pero anteriores a los cristales de cuarzo.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; gn: galena



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |            |
|---|-----------------------|------------|
| Referencia: 022-LPA   | Taladro: DDH-049-U-15 | Corrida: - |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                       |            |
| Caliza brechada en matriz de anhidrita azucarada. Presencia de venillas de anhidrita tardías de 1mm de potencia que cortan el conjunto. Vena de sulfuros de distintas etapas (20 mm de potencia); en secuencia, en los bordes se presenta pirita fina en matriz de anhidrita gruesa; hacia la parte central, pirita gruesa euhedral más anhidrita blanca; y en el núcleo, venillas (0.5 mm de potencia) de anhidrita transparente (translucida gris) paralelas al eje del contacto de la veta. Finalmente, venillas de anhidrita y/o yeso transparente a gris (2 mm de potencia) cortan en un ángulo importante a la veta anterior. |                       |            |

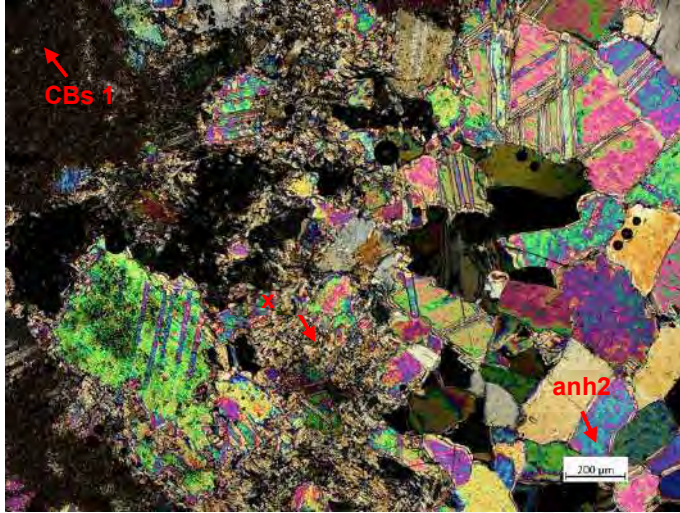


**Arriba:** Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del rectángulo rojo el lugar donde se realizó la lámina delgada.

**Izquierda:** Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |  |   |
|----------------|--|---|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos, anhidrita</p> <p><i>Abundante:</i> sulfuros</p> <p><i>Escasos:</i> filosilicatos (flogopita, tremolita, clorita)</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección se compone de una brecha de caliza cristalina en una matriz de anhidrita, posteriormente cortada por una veta de sulfuros. El cuerpo de anhidrita está formado por anhidrita removilizada de grano grueso (hasta 1300 <math>\mu\text{m}</math>), posteriormente alterada por filosilicatos (flogopita) al contacto con los clastos de caliza. Los clastos de caliza están formados por cristales de carbonatos con remanentes de anhidrita sedimentaria. Estos granos de anhidrita son anhedral y se encuentran alterados por carbonatos finos. Los clastos de caliza se encuentran cortados por vetas de carbonatos posteriores, anhidrita removilizada y yeso. En el interior de los clastos de caliza y al contacto con las vetillas de yeso, se registran sulfuros orientados.</p> <p>La veta de sulfuros está formada por cristales euhedrales a anhedral de sulfuros (principalmente esfalerita y menor otros sulfuros) orientados en dirección de la veta. Se observa una gradación de la granulometría de los sulfuros: de grano fino al contacto con la veta, a grueso hacia el centro (hasta 400 <math>\mu\text{m}</math>), existiendo una correlación directamente proporcional de tamaño respecto a la granulometría de los carbonatos. Dentro de la veta se ha reconocido alteración a clorita y tremolita; así como escasos granos anhedral de cuarzo orientados en dirección de la veta.</p> |

FOTO 1

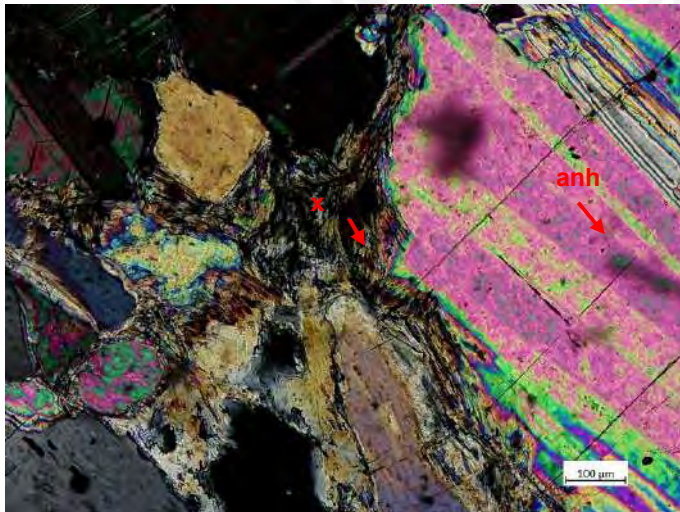


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto de clasto de caliza con matriz de anhidrita, en el contacto se registra la alteración de los cristales de anhidritas por filosilicatos (x).

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; x: filosilicatos

FOTO 2

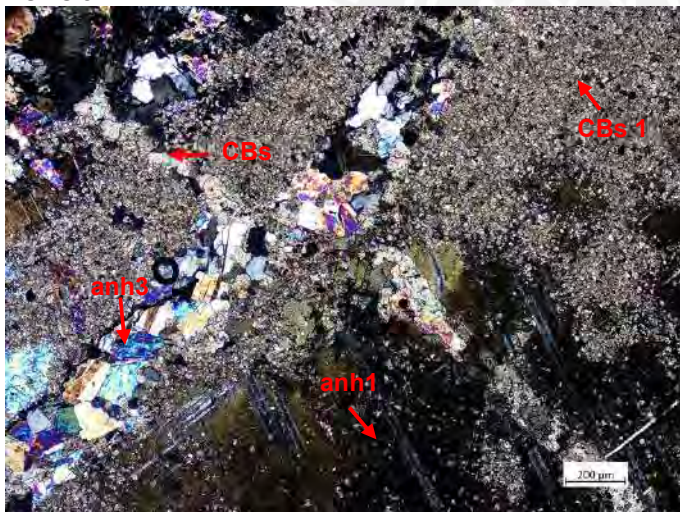


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Alteración de los cristales de anhidritas por filosilicatos (x).

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; x: filosilicatos

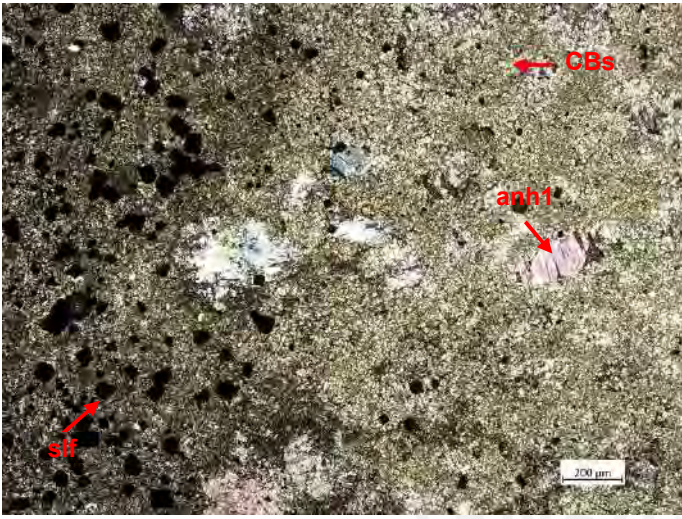
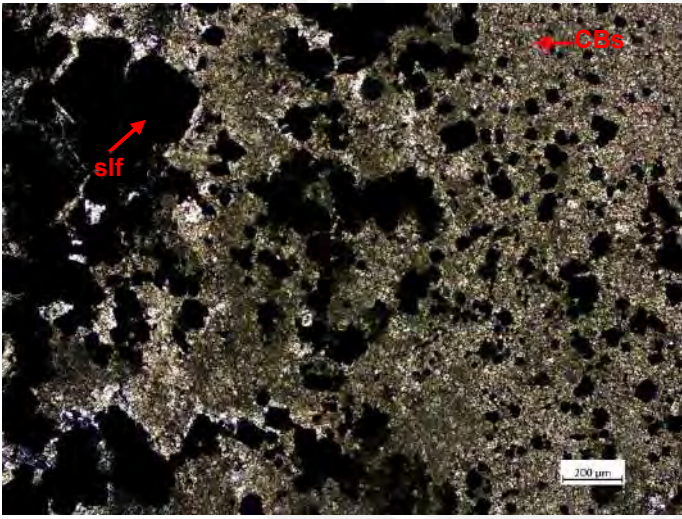
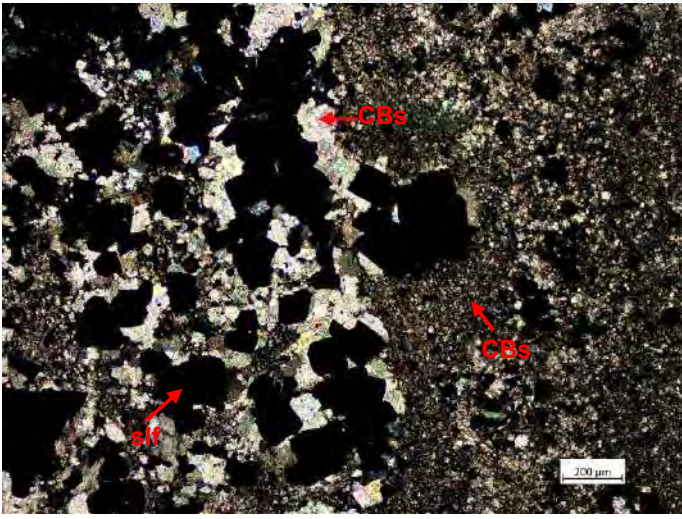
FOTO 3



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Clasto de caliza con remanentes de la anhidrita sedimentaria, cortada por vetillas de anhidrita removilizada y carbonatos.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos

|  |   |
|--|---|
| <p><b>FOTO 4</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Contacto con clasto de caliza con anhidrita sedimentaria remanente, con vetilla de sulfuros. Se registra una gradación de la granulometría de los sulfuros desde los diseminados en los clastos a los del interior de la veta.</p> <p>Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; slf: sulfuros</p> |
| <p><b>FOTO 5</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Gradación de la granulometría de los sulfuros desde los diseminados en los clastos a los del interior de la veta.</p> <p>CBs: carbonatos; slf: sulfuros</p>  |
| <p><b>FOTO 6</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. La gradación de la granulometría de los sulfuros desde los diseminados en los clastos a los del interior de la veta, son directamente proporcionales al tamaño de los carbonatos.</p> <p>CBs: carbonatos; slf: sulfuros</p>  |

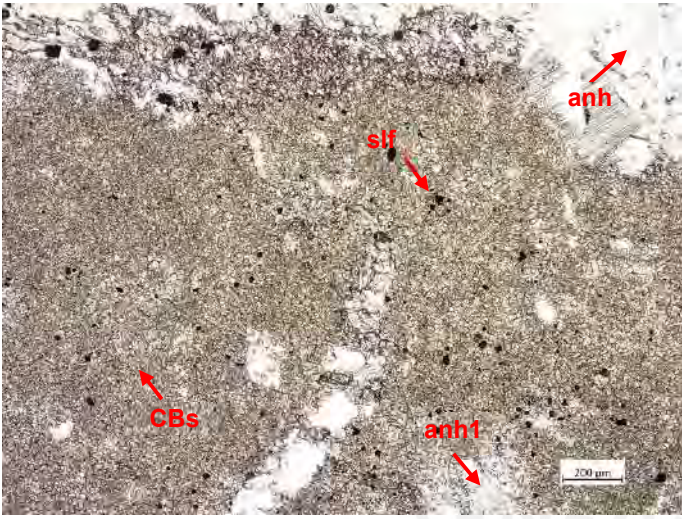
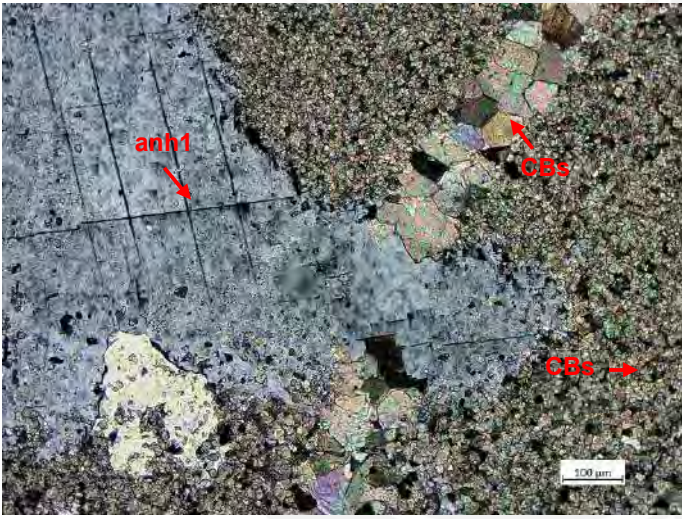
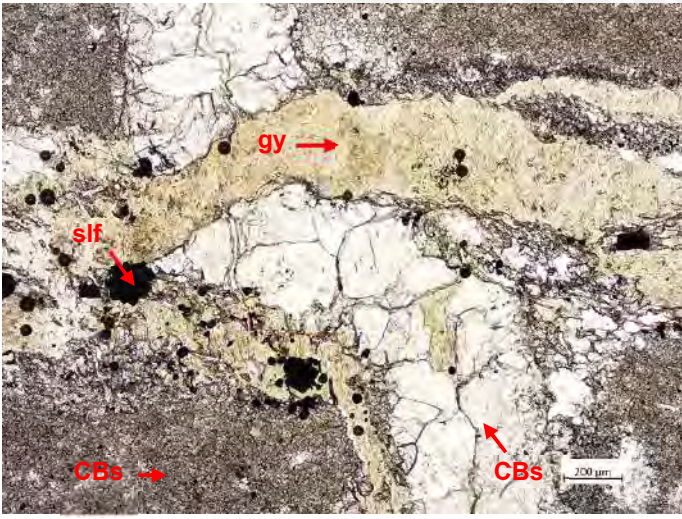
| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                       |            |
|--|-----------------------|------------|
| Referencia: 022-LPA  | Taladro: DDH-049-U-15 | Corrida: - |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                       |            |
| Caliza brechada en matriz de anhidrita azucarada. Presencia de venillas de anhidrita tardías de 1mm de potencia que cortan el conjunto. Vena de sulfuros de distintas etapas (20 mm de potencia); en secuencia, en los bordes se presenta pirita fina en matriz de anhidrita gruesa; hacia la parte central, pirita gruesa euedral más anhidrita blanca; y en el núcleo, venillas (0.5 mm de potencia) de anhidrita transparente (translúcida gris) paralelas al eje del contacto de la veta. Finalmente, venillas de anhidrita y/o yeso transparente a gris (2 mm de potencia) cortan en un ángulo importante a la veta anterior. |                       |            |



**Arriba:** Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado verde el lugar donde se realizó la lámina delgada.

**Izquierda:** Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos (caliza)</p> <p><i>Abundante:</i> carbonatos, anhidrita, yeso</p> <p><i>Escasos:</i></p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección consiste en una brecha con clastos de caliza cristalina en una matriz de anhidrita, posteriormente cortadas por vetillas de anhidrita removilizada, carbonatos, y yeso. Los clastos de caliza están constituidos por cristales de carbonatos y remanentes de la anhidrita sedimentaria; encontrándose que cuando vetillas de carbonatos posteriores cortaron los cristales de anhidrita, estos recrystalizan. Los cristales de carbonatos que conforman los clastos, en contacto con la matriz y las vetillas de anhidrita, recrystalizan. Dentro de los clastos de caliza se encuentran sulfuros diseminados (entre 25 - 50 <math>\mu\text{m}</math>); sin embargo, los sulfuros de mayor tamaño (hasta 200 <math>\mu\text{m}</math>) se encuentran orientados al contacto con vetillas de anhidrita posteriormente reemplazadas por yeso. La orientación de sulfuros no se registra en todas las vetillas de anhidrita, solo en la alterada a yeso; encontrándose que los sulfuros llegan desde la matriz de anhidrita.</p> |

|   |  |
|---|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>  <p>A photomicrograph showing a dense matrix of small, dark, irregularly shaped crystals (sulfides, labeled 'slf') and larger, lighter-colored, angular fragments (carbonates, labeled 'CBs'). Some white, crystalline areas (anhydrite, labeled 'anh') are visible. A scale bar in the bottom right corner indicates 200 µm.</p> | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de sulfuros diseminados en clastos de caliza con remanentes de anhidrita sedimentaria.</p> <p>Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; slf: sulfuros</p> |
| <p><b>FOTO 2</b></p>  <p>A photomicrograph showing large, angular, multi-colored crystals (anhydrite, labeled 'anh') and smaller, darker, angular fragments (carbonates, labeled 'CBs'). The crystals show signs of recrystallization. A scale bar in the bottom right corner indicates 100 µm.</p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Anhidrita recrystalizada donde fue cortada por vetilla de carbonatos.</p> <p>Anh: anhidrita; CBs: carbonatos</p>  |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  <p>A photomicrograph showing a complex texture. A prominent, light-colored, irregularly shaped vein (gypsum, labeled 'gy') cuts through a matrix of carbonates (labeled 'CBs') and sulfides (labeled 'slf'). A scale bar in the bottom right corner indicates 200 µm.</p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Vetilla de carbonatos cortada por posterior veta de yeso.</p> <p>Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso; slf: sulfuros</p>                              |

**FOTO 4**

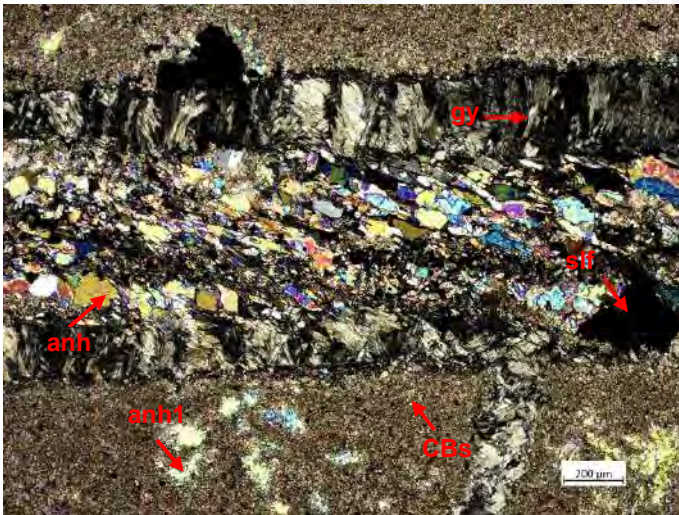


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de sulfuros orientados a lo largo de la vetilla de anhidrita reemplazada a yeso.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso; slf: sulfuros

**FOTO 5**

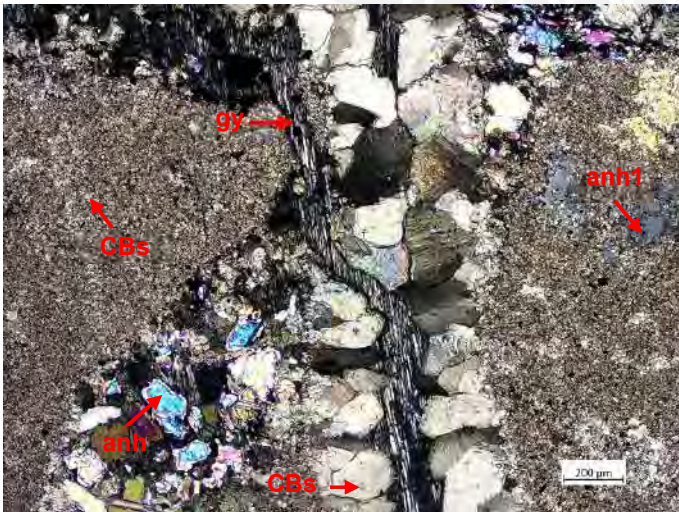


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada de la Foto 4 a nicoles cruzados. Cristales de sulfuros orientados a lo largo de la vetilla de anhidrita reemplazada a yeso.

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso; slf: sulfuros

**FOTO 6**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Vetilla de anhidrita, cortada por vetilla de carbonatos

Anh: anhidrita; CBs: carbonatos; gy: yeso; slf: sulfuros

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                       |                        |
|---|-----------------------|------------------------|
| Referencia: 026-LP  | Taladro: DDH-049-U-18 | Corrida: 21.40 - 21.55 |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                       |                        |
| Pirita fina con galena posterior. El conjunto se encuentra cortado por una veta de rodocrosita. |                       |                        |

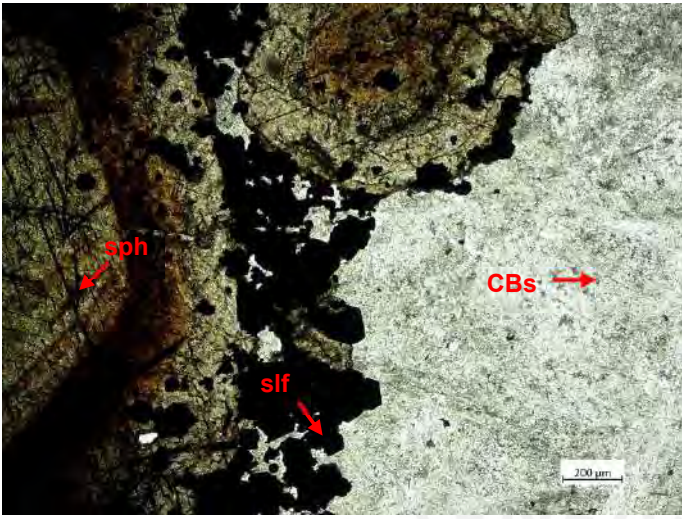
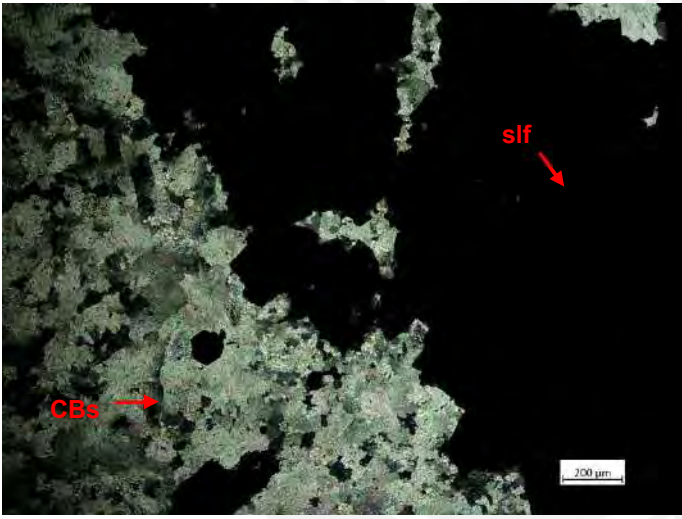
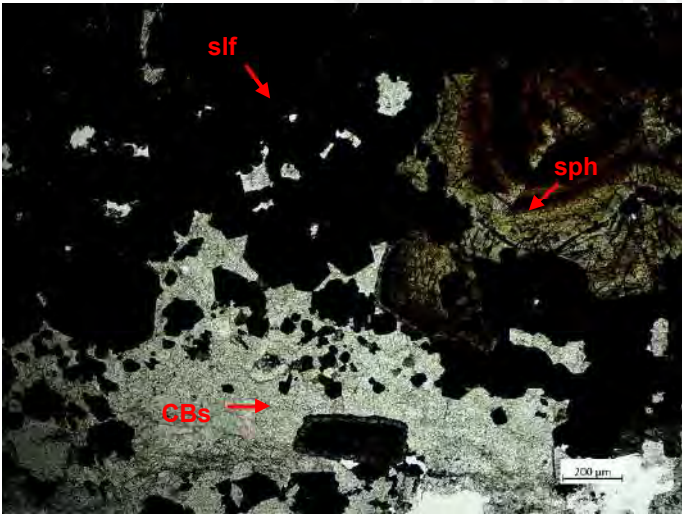


**Arriba:** Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado rojo el lugar donde se realizó la lámina delgada.

**Izquierda:** Escaneo de la lámina delgada.

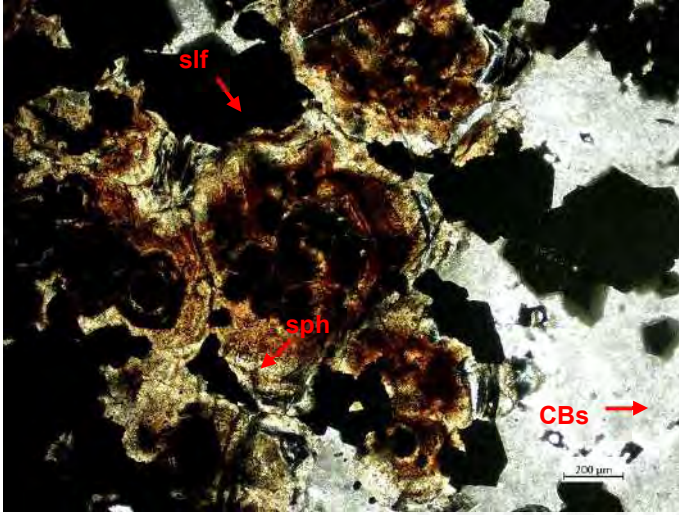
| COMPOSICIÓN    |  |  |
|----------------|--|--|
|                | MINERALOGÍA  | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> sulfuros; esfalerita, carbonatos</p> <p><i>Abundante:</i></p> <p><i>Escasos:</i></p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección corresponde a una veta de sulfuros (para mayor detalle ver la descripción de la sección pulida 026-SP) en una matriz de carbonatos, cortada por una veta de carbonatos tardíos. La matriz donde se encuentran los carbonatos no presenta una diferencia brusca respecto a la veta de carbonatos que corta la veta de sulfuros, sin embargo, existe una diferencia granulométrica. Los cristales de carbonatos que conforman la matriz de la veta de sulfuros consisten en cristales anhedrales que se emplazan entre los sulfuros parcialmente reemplazándolos. Los cristales que conforman la veta de carbonatos presentan cristales más gruesos, subhedrales y con hábitos romboidales. En ambos casos, los carbonatos presentan extinción ondulante. No se registran minerales translúcidos en el interior de los sulfuros.</p> |

| FOTO 1 | Comentarios:   |
|--------|--|
|        | <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicols paralelos. Veta de sulfuros cortada por veta de carbonatos</p> <p>CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p> |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 2</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales zonados de esfalerita, sobre los cuales y entre los cuales se encuentran cristales euhedrales a anhedrales de sulfuros.</p> <p>CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p> |
| <p><b>FOTO 3</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Veta de carbonatos corta a la veta de sulfuros.</p> <p>CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p>  |
| <p><b>FOTO 4</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Veta de sulfuros en matriz de carbonatos.</p> <p>CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p>   |



**FOTO 5**

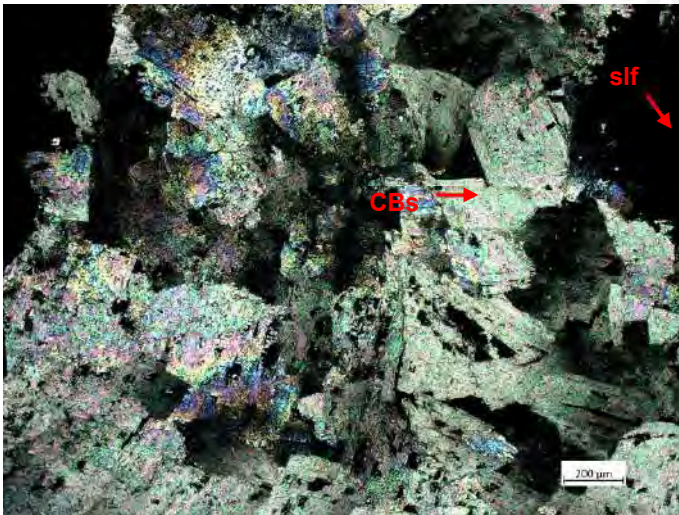


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita zonada.

CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros

**FOTO 6**



**Comentarios:**

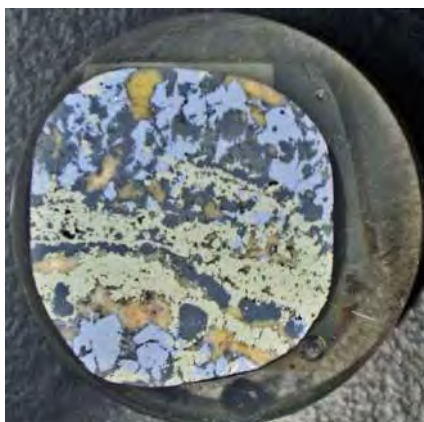
Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Interior de la veta de carbonatos: cristales subhedrales a anhedrales de carbonatos con hábitos romboidales.

CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA  |                              |                               |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 026-SP   | <b>Taladro:</b> DDH-049-U-18 | <b>Corrida:</b> 21.40 - 21.55 |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>  |                              |                               |
| Pirita fina con galena posterior. El conjunto se encuentra cortado por una veta de carbonatos de tonalidad rosa pálido. |                              |                               |



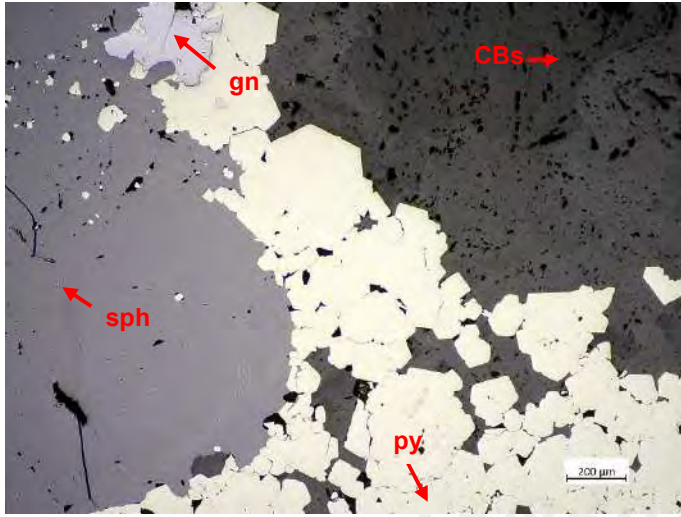
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida.



*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |   |
|----------------|---|---|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES   |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> pirita, galena, carbonatos</p> <p><i>Abundante:</i> esfalerita</p> <p><i>Escasos:</i> calcopirita</p> <p><i>Muy escasos:</i> cobres grises</p> | <p>La sección consiste en un 70% de sulfuros siendo los mayoritarios la pirita, galena y esfalerita. La sección corresponde a una veta de sulfuros en una matriz de carbonatos posteriores, que en parte los reemplaza. El primer sulfuro en cristalizar es la pirita. Esta se presenta como cristales euhedrales a subhedrales intercrecidos, emplazados como vetas y escasamente diseminadas en la matriz. En ambos casos, se encuentran parcialmente reemplazadas a través de porosidades, intersticios y principalmente bordes por esfalerita y galena. La esfalerita se presenta como cristales anhedrales con “chalcopyrite disease”, cuyas inclusiones de calcopirita que la conforman se orientaron en función de los planos de clivaje de la esfalerita. Este mineral se encuentra parcialmente reemplazado a través de porosidades, intersticios y principalmente bordes por cobres grises y galena. Los cobres grises son escasos y la sección y se presentan como agregados anhedrales reemplazados por galena a través de bordes. La galena se presenta como agregados irregulares. Todo el conjunto se encuentra parcialmente reemplazado por carbonatos.</p> |

FOTO 1

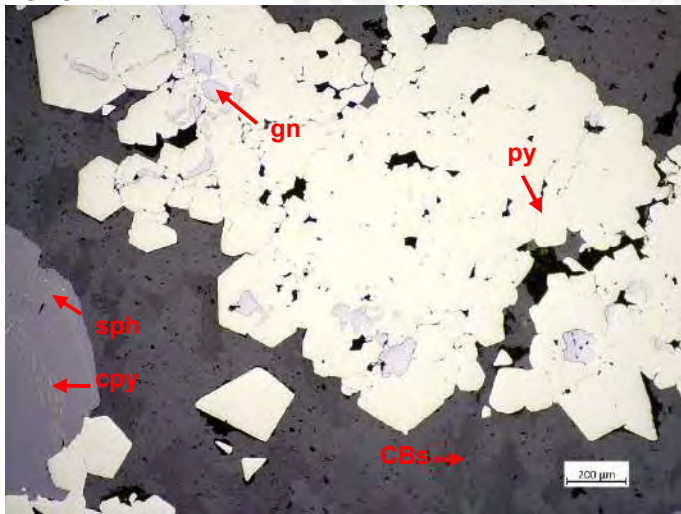


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales euhedrales a anhedrales de pirita intercrecidos entre ellos, y en algunos casos reemplazados por esfalerita y galena.

Py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena; CBs: carbonatos

FOTO 2

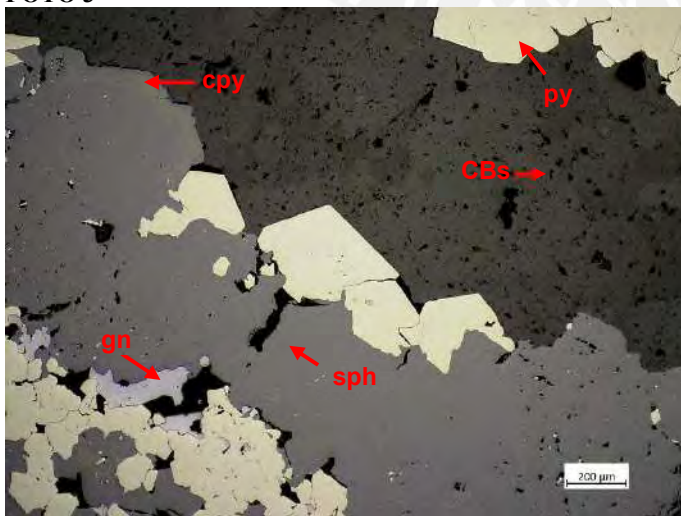


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Reemplazamiento de pirita por galena a través de porosidades.

Py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena; CBs: carbonatos

FOTO 3

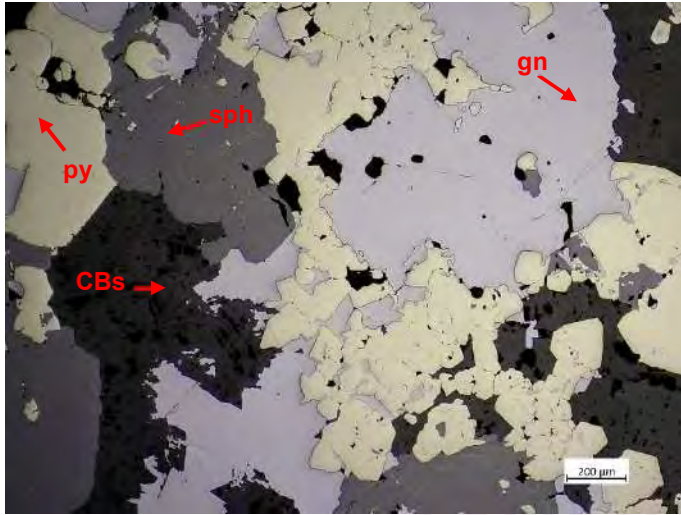


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita zonada reemplaza a pirita a través de bordes y es reemplazada por galena a través de bordes e intersticios.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; gn: galena; CBs: carbonatos

FOTO 4

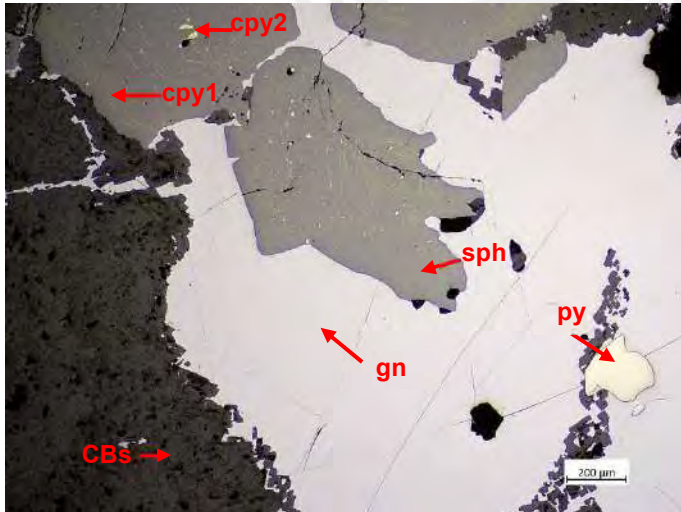


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Remanente de esfalerita y pirita en el interior de galena.

Py: pirita; sph: esfalerita; gn: galena; CBs: carbonatos

FOTO 5

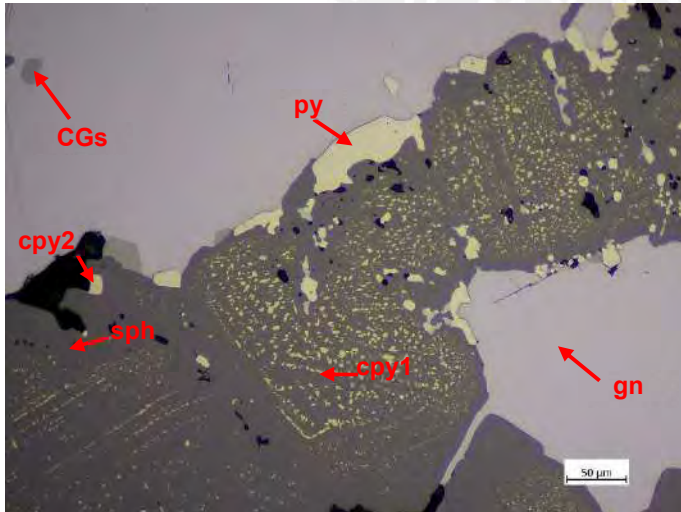


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita con: “chalcopyrite disease”, cuyas inclusiones de calcopirita se alinearon siguiendo sus planos de clivaje; y con inclusiones de calcopirita. El reemplazamiento por carbonatos es posterior a la galena, y se realiza a través de bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; gn: galena; CBs: carbonatos

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita con abundante “chalcopyrite disease” reemplaza a la pirita y es reemplazada por los cobres grises. El conjunto, posteriormente, es reemplazado por galena por galena.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; gn: galena; CBs: carbonatos

| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                       |                        |
|--|-----------------------|------------------------|
| Referencia: 032-LP   | Taladro: DDH-103-U-18 | Corrida: 158.90-159.00 |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                       |                        |
| Clastos subredondeados de esfalerita amarilla (de 1 a 20 mm), con cemento de carbonatos (blancos a rosado pálido). Los clastos presentan un ribete de esfalerita negra, algunos de los cuales pueden contener pirita gruesa. |                       |                        |



*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del cuadrado rojo el lugar donde se realizó la lámina delgada.

*Izquierda:* Escaneo de la lámina delgada.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> carbonatos</p> <p><i>Abundante:</i> sulfuros, esfalerita</p> <p><i>Escasos:</i> cuarzo</p> <p><i>Muy escasos:</i> barita</p> | <p>La lámina consiste en un 30% de sulfuros diseminados en una matriz de cuarzo, carbonatos y barita, estos carbonatos ingresarían a través de vetas tardías; registrándose diferentes pulsos. El cuarzo es el primer mineral que cristaliza, se presenta de dos formas, como: cristales anhedrales pequeños (qtz 1) y como cristales euhedrales gruesos (qtz 2), en ambos casos como relictos al interior de los cristales de sulfuros. Los sulfuros siguen en la secuencia, se han reconocido en la sección esfalerita y otros (para más detalle ver la descripción de la sección pulida 032-SP). Los sulfuros se presentan como cristales anhedrales en el caso de la esfalerita, y como cristales de anhedrales a euhedrales en el caso de los demás sulfuros. Los sulfuros se encuentran cortados por vetas de carbonatos y reemplazados por los mismos desde sus bordes. Los carbonatos son los últimos minerales que cristalizan, dentro de la matriz corresponden a cristales anhedrales que crecen y en parte alteran a los anteriores minerales que conforman la roca; dentro de la veta lo conforman cristales más desarrollados de bordes euhedrales con hábito romboidal. Dentro de la veta se reconocen vetillas posteriores que la cortan, estas vetillas están conformadas por cristales euhedrales pequeños. Los cristales translucidos que conforman la sección presentan extinción ondulante.</p> |

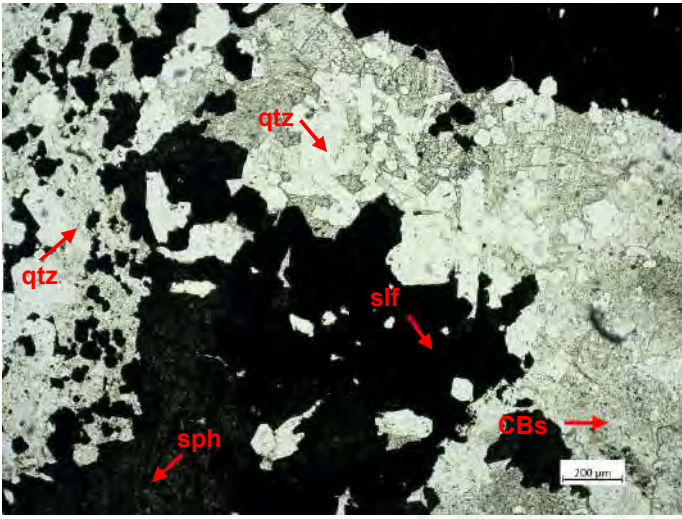
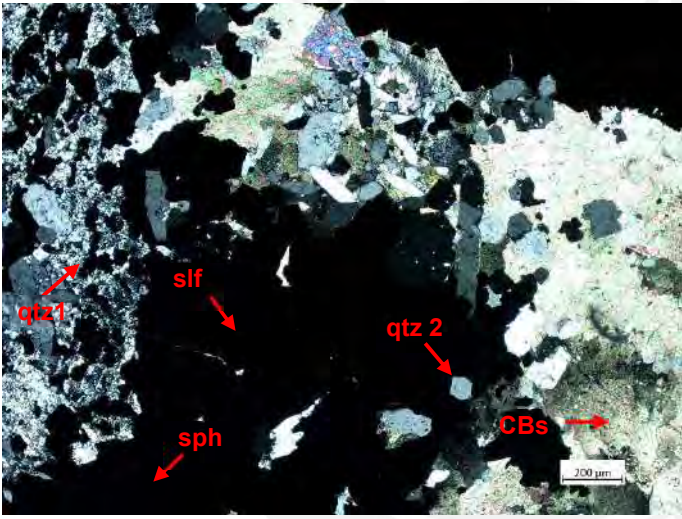
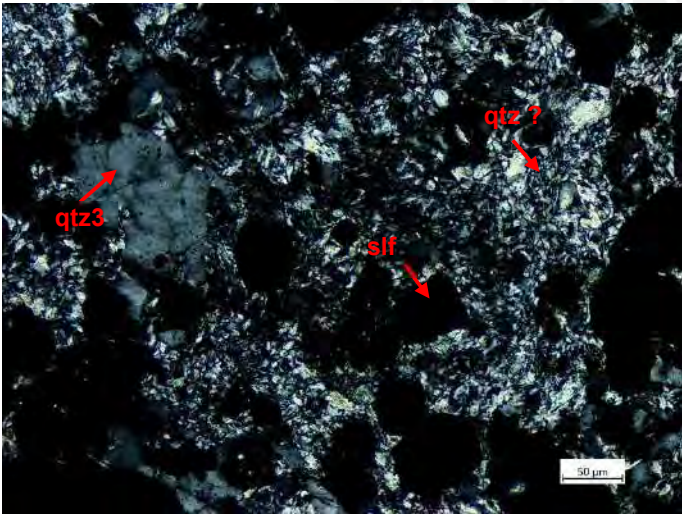
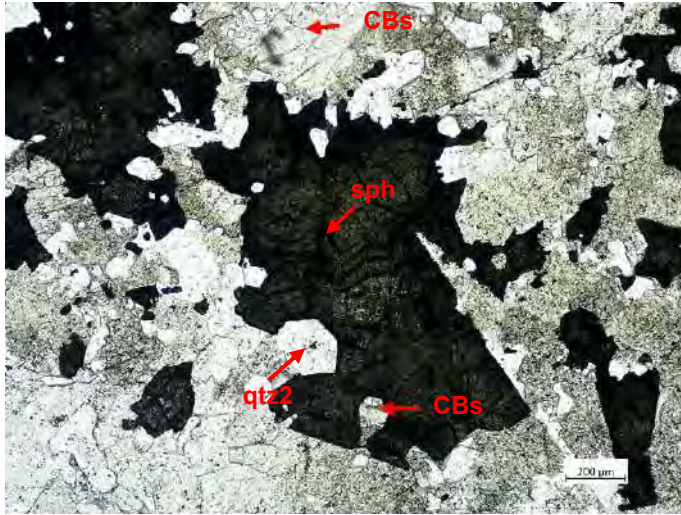
|  |  |
|--|--|
| <p><b>FOTO 1</b></p>    | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de sulfuros crecieron entre los intersticios de los cristales de cuarzo, y posteriormente fueron reemplazados por los carbonatos que componen la matriz.</p> <p>Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p> |
| <p><b>FOTO 2</b></p>   | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 5x en luz polarizada de la Foto 1 a nicoles cruzados. Cristales euhedrales de como remanentes en los cristales de sulfuros</p> <p>Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros</p>   |
| <p><b>FOTO 3</b></p>  | <p><b>Comentarios:</b></p> <p>Vista al objetivo 20x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales anhedrales de cuarzo con cristales de sulfuro en su interior.</p> <p>Qtz: cuarzo; slf: sulfuros</p>  |

FOTO 4

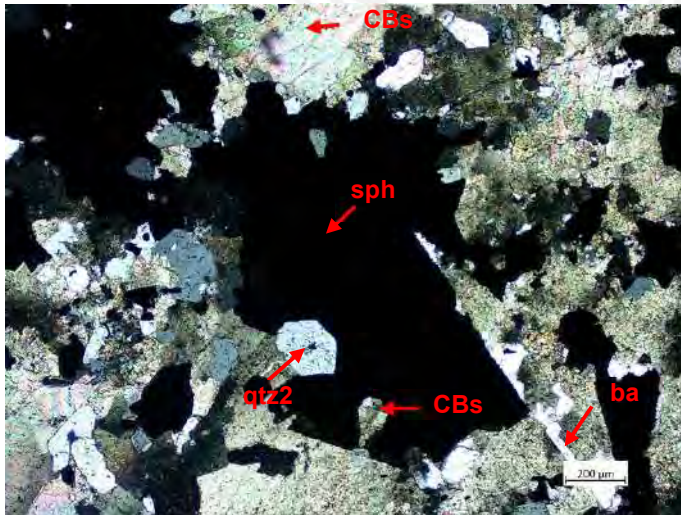


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita crece en intersticios de cuarzo y carbonatos y presenta un remanente de cuarzo.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 5

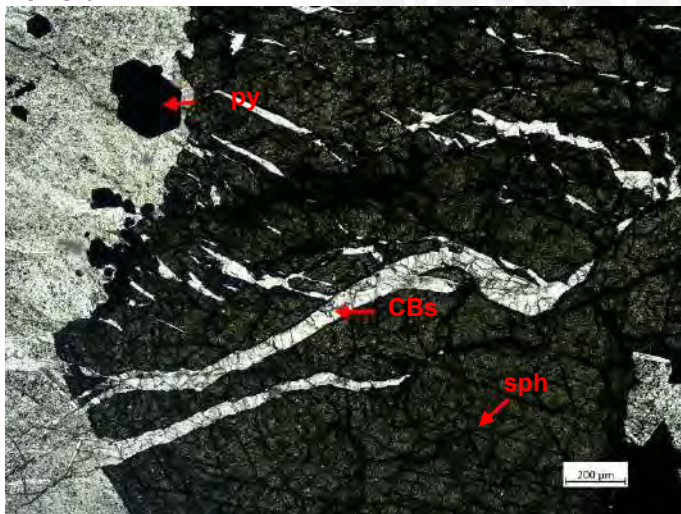


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada de la Foto 4 a nicoles cruzados. Esfalerita con relictos de cuarzo euhedral (qtz 2) y posteriormente reemplazados por carbonatos de la matriz.

Qtz: cuarzo; CBs: carbonatos; sph: esfalerita; slf: sulfuros

FOTO 6

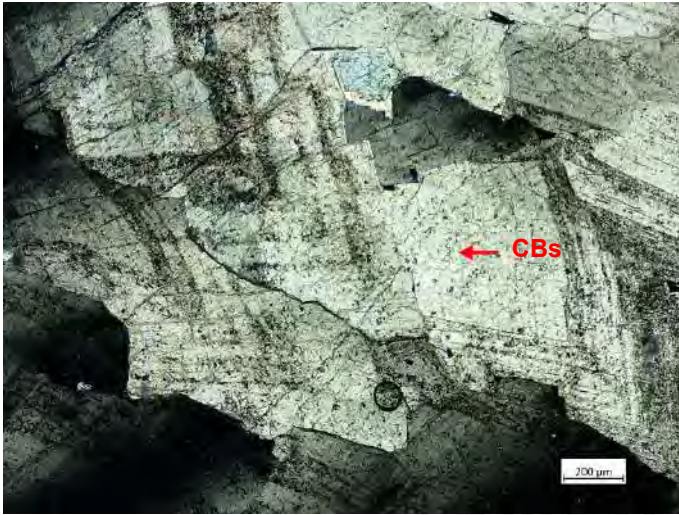


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de esfalerita cortadas por vetillas de carbonatos.

CBs: carbonatos; py: pirita; sph: esfalerita; slf: sulfuros

**FOTO 7**

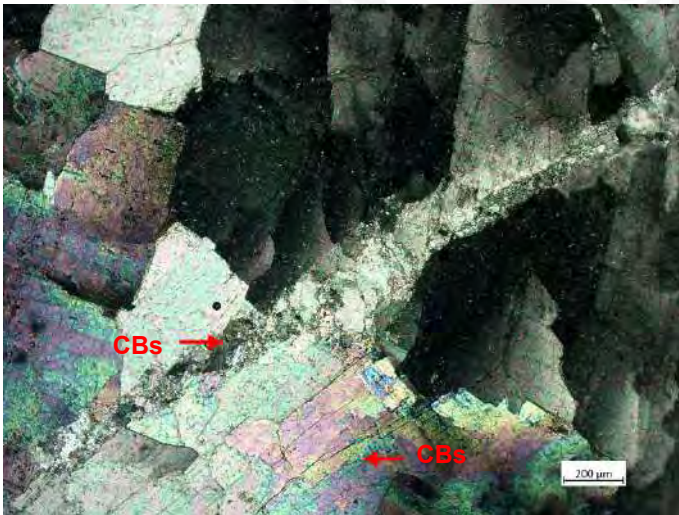


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Cristales de hábito romboédricos gruesos de carbonatos.

CBs: carbonatos

**FOTO 8**



**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles cruzados. Veta de carbonatos de cristales gruesos cortado por una segunda veta de cristales finos de carbonatos.

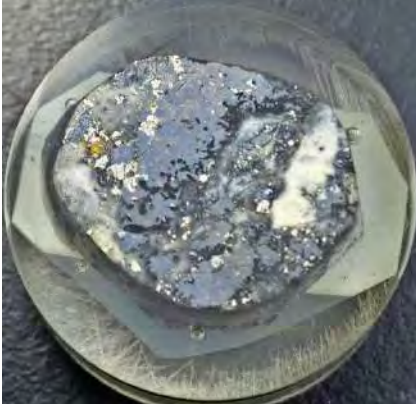
CBs: carbonatos



| DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA   |                              |                               |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Referencia:</b> 032-SP  | <b>Taladro:</b> DDH-103-U-18 | <b>Corrida:</b> 158.90-159.00 |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   |                              |                               |
| Clastos subredondeados de esfalerita amarilla (de 1 a 20 mm), con cemento de carbonatos (blancos a rosado pálido). Los clastos presentan un ribete de esfalerita negra, algunos de los cuales pueden contener pirita gruesa. |                              |                               |



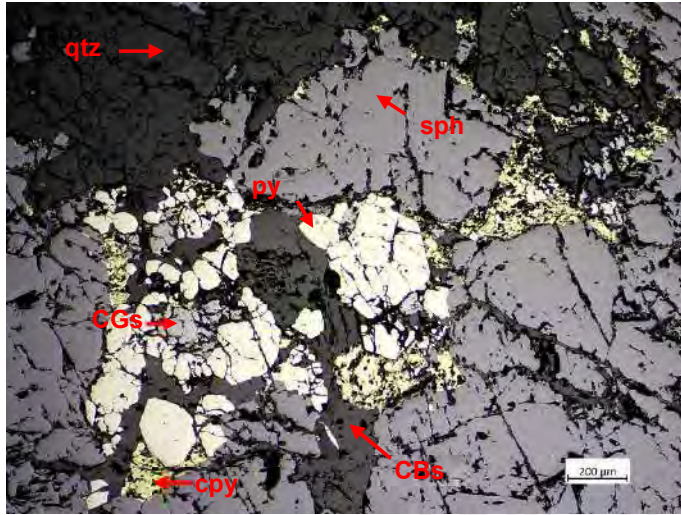
*Arriba:* Foto de muestra de interior de mina, mostrando dentro del círculo rojo el lugar donde se realizó la sección pulida.



*Izquierda:* Escaneo de la sección pulida.

| COMPOSICIÓN    |   |  |
|----------------|---|--|
|                | MINERALOGÍA   | TEXTURA / OBSERVACIONES  |
| Mineralización | <p><i>Muy abundante:</i> esfalerita, carbonatos, cuarzo</p> <p><i>Abundante:</i> pirita, cobres grises</p> <p><i>Escasos:</i> galena, pirita</p> <p><i>Muy escasos:</i></p> | <p>La sección corresponde en un 50% de sulfuros, en orden de abundancia: esfalerita, pirita, cobres grises, galena y calcopirita, diseminados en una matriz conformada por carbonatos y cuarzo. Los sulfuros han cristalizados en el siguiente orden: pirita, esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena. La pirita se presenta como cristales subhedrales a anhedrales parcialmente reemplazados por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena a través de porosidades, intersticios y principalmente bordes. La esfalerita se presenta como agregados irregulares de dos tipos: limpia o con escasas inclusiones de calcopirita, o con “chalcopirite disease”. En ambos casos, se encuentran parcialmente reemplazados por calcopirita, cobres grises y galena, a través de microfracturas, porosidades, intersticios u principalmente bordes. Los cobres grises y la galena se presentan como agregados masivos, el primero siendo reemplazado por el segundo.</p> |

FOTO 1

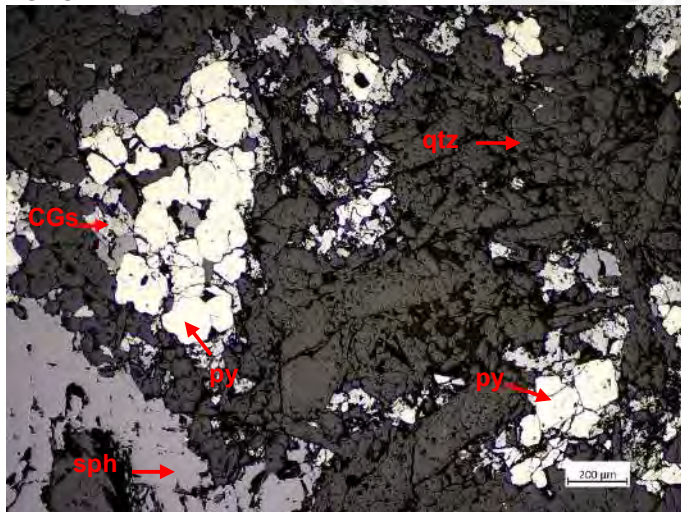


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros en una matriz de cuarzo y carbonatos.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; qtz: cuarzo; CBs: carbonatos

FOTO 2

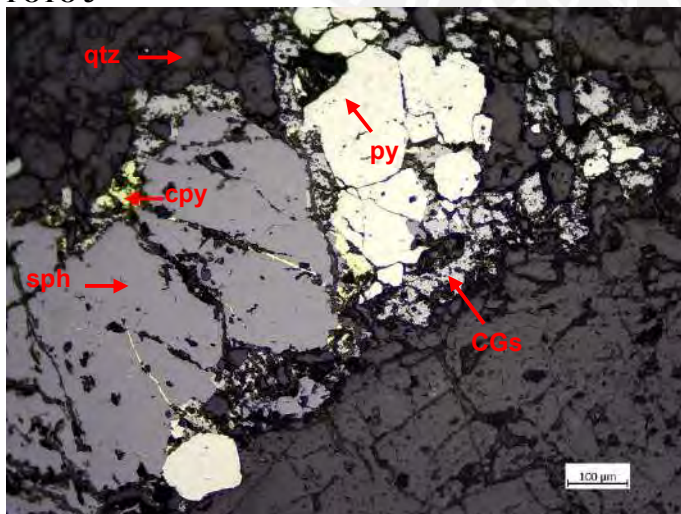


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Sulfuros intercrecidos entre cristales de cuarzo.

Py: pirita; sph: esfalerita; CGs: cobres grises; qtz: cuarzo; CBs: carbonatos

FOTO 3

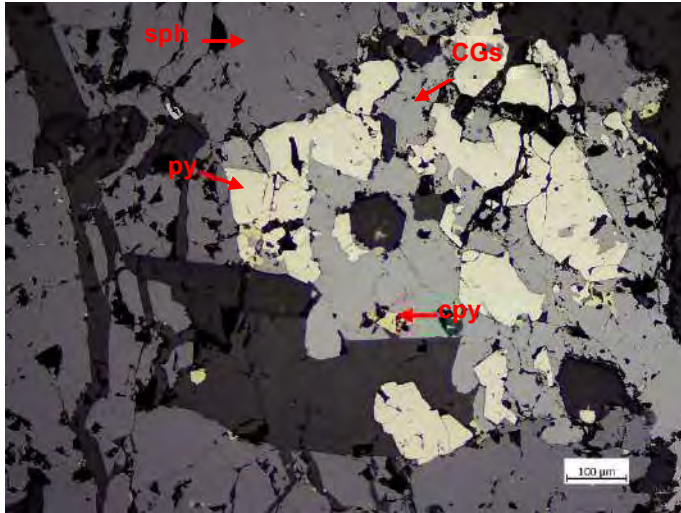


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Pirita reemplazada por esfalerita y cobres grises desde bordes. Esfalerita reemplazada por calcopirita a través de microfracturas y bordes, y por cobres grises a través de bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises; qtz: cuarzo; CBs: carbonatos

FOTO 4

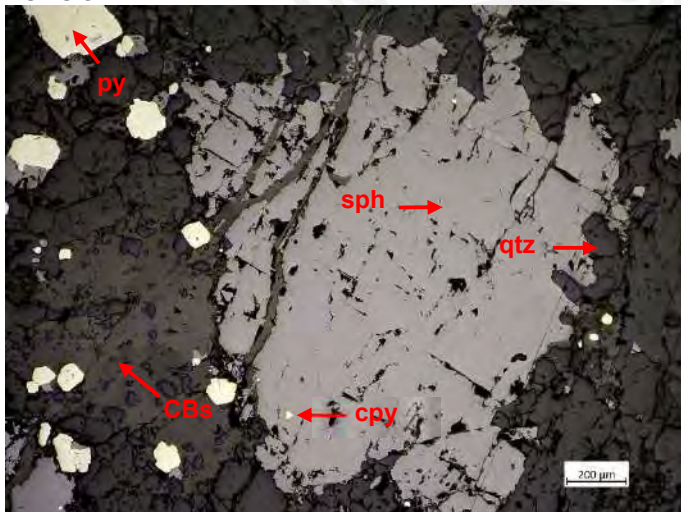


**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cobres grises con relictos de pirita y calcopirita; además han remplazado a la esfalerita a través de bordes.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita; CGs: cobres grises;

FOTO 5

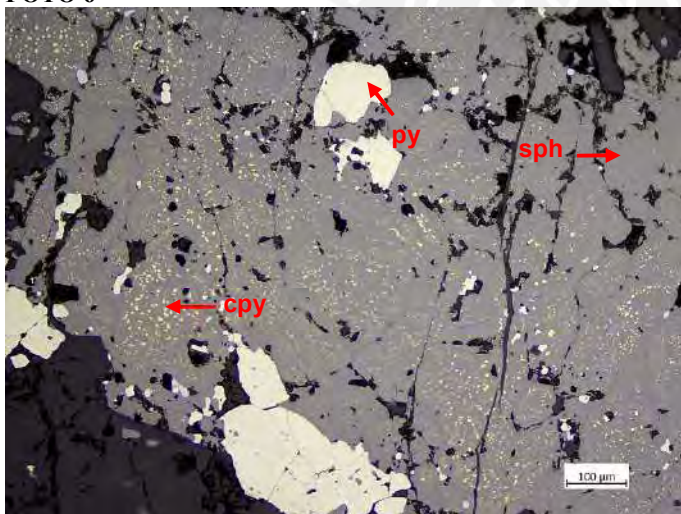


**Comentarios:**

Vista al objetivo 5x en luz polarizada a nicoles paralelos. Cristales de esfalerita intercrecidos con cristales de cuarzo y cortados por vetillas de carbonatos posteriores.

Py: pirita; sph: esfalerita; qtz: cuarzo; CBs: carbonatos

FOTO 6



**Comentarios:**

Vista al objetivo 10x en luz polarizada a nicoles paralelos. Esfalerita con “chalcopyrite disease” reemplazó a pirita, la cual permanece como relictos en su interior.

Py: pirita; sph: esfalerita; cpy: calcopirita

### ANEXO 3

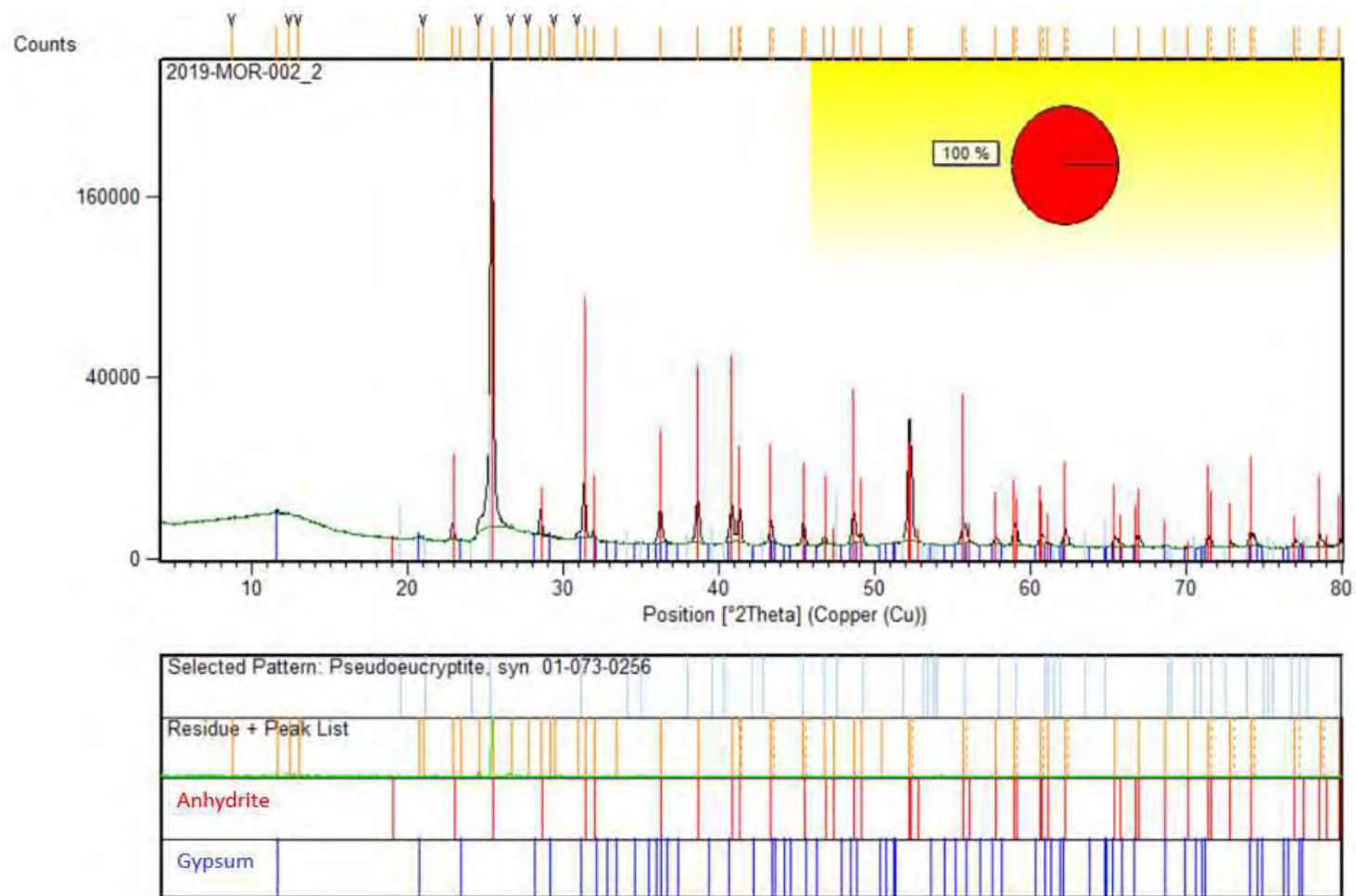
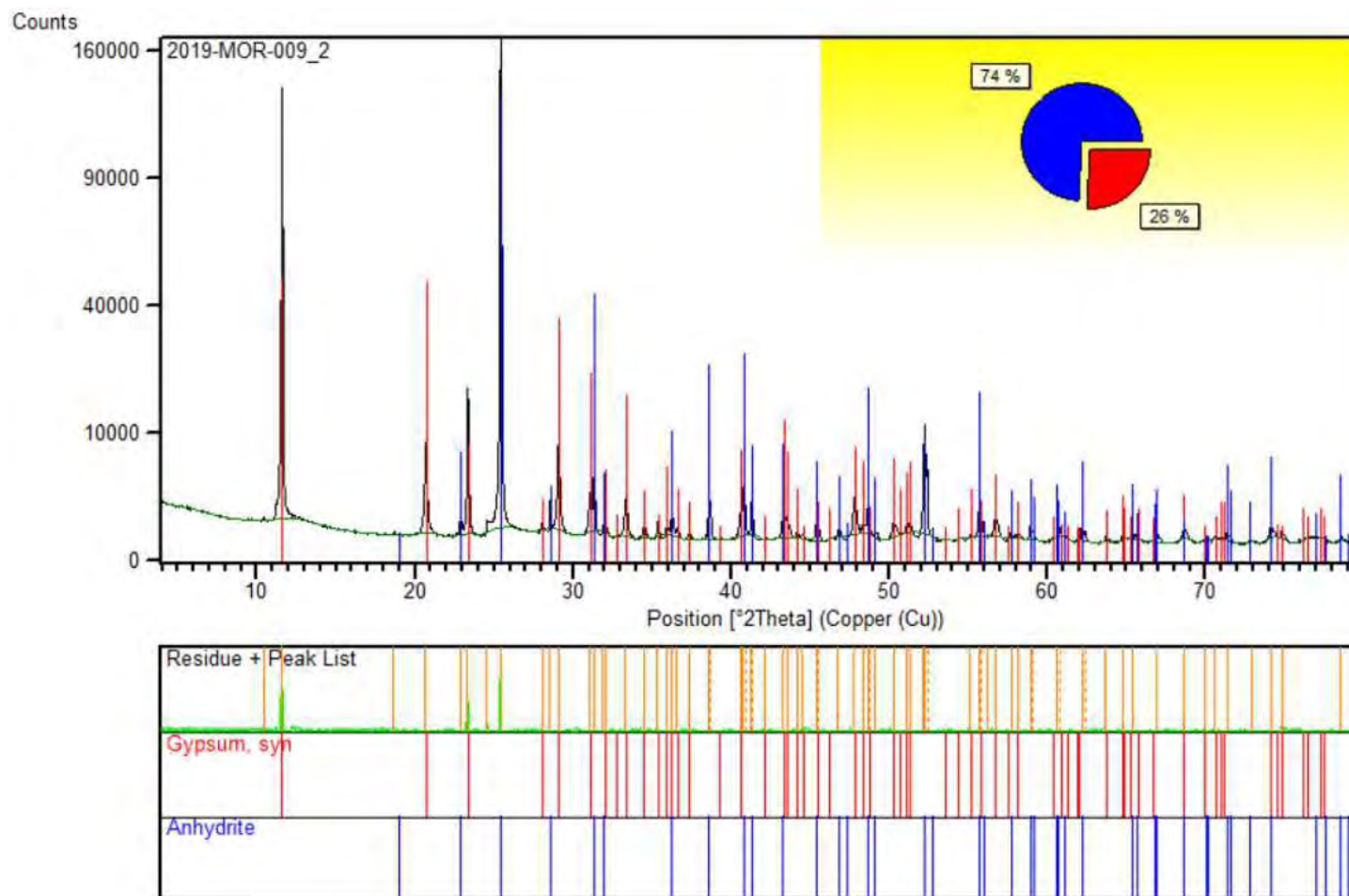


Figura A.3 - 1: Resultados del análisis de DRX para la anhidrita sedimentaria (2019-MOR-002). Indica un contenido al 100% de anhidrita.



**Figura A.3 - 2:** Resultados del análisis de DRX para la anhidrita asociada a la mineralización polimetálica del Manto Ivette (2019-MOR-009). Indica un contenido al 74% de anhidrita y 26% de yeso.