

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



**MINERALOGÍA Y TEXTURAS DE LA
MINERALIZACIÓN EN EL YACIMIENTO DE TIPO MVT
DE SHALIPAYCO, PERÚ**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de
Bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería Geológica**

AUTORA:

ANDREA JULIETA MILLÁN NÚÑEZ

ASESOR:

Dr. LISARD TORRÓ I ABAT

Lima - 2020

RESUMEN

El depósito de tipo MVT de Shalipayco, ubicado en la provincia de Carhuamayo, aloja recursos minerales que se han estimado en 9.47 Mt de mineral con leyes de 4.44% de Zn, 0.48% de Pb y 31.1 g/t de Ag. El objetivo de esta tesis es determinar la mineralogía y texturas de la mineralización metálica en este depósito para elaborar una secuencia paragenética y obtener información útil para diseñar un óptimo procesamiento mineralúrgico-metalúrgico de la mena.

La mineralización de Shalipayco se presenta en mantos de reemplazamiento. En esta tesis se estudiaron muestras de los mantos Intermedio y Resurgidora. La secuencia paragenética establecida para ambos inicia con una primera generación de carbonatos junto con una primera generación de pirita que fue reemplazada por dos generaciones de esfalerita (esfalerita 1 y 2), y marcasita. Posteriormente cristalizó una tercera generación de esfalerita (esfalerita 3) y una segunda generación de pirita con marcasita. Después cristalizó una cuarta generación de esfalerita (esfalerita 4), a la que le habría seguido una quinta generación de esfalerita (esfalerita 5). Finalmente, cristalizaron galena, una segunda generación de carbonatos y una tercera generación de pirita.

La esfalerita es el principal mineral de mena en las muestras estudiadas y se han diferenciado 5 tipos texturales/generaciones de este mineral: i) la esfalerita 1 se presenta en forma de cristales anhedrales-subhedrales de color negro con ausencia de reflejos internos; ii) la esfalerita 2 forma granos anhedrales-subhedrales, presenta reflejos internos de color marrón y sectorialmente reemplaza a la esfalerita 1; iii) la esfalerita 3 forma cristales milimétricos subhedrales, presenta reflejos internos de color pardo rojizo y localmente reemplaza y crece sobre esfalerita 1 y 2; iv) la esfalerita 4 aparece en forma de cristales anhedrales que presentan reflejos internos de color pardo amarillento y ha

crecido de forma pasiva sobre esfalerita 1 a 3 y ocupando espacios intersticiales entre éstas; v) la esfalerita 5 forma agregados de cristales anhedrales sub-milimétricos, presenta reflejos internos de color blanco y aparece como relleno intersticial entre, o de microfracturas en, granos de esfalerita 1 a 4.

PALABRAS CLAVE

Secuencia paragenética, manto de reemplazamiento, mineralización Zn-Pb alojada en carbonatos, esfalerita, reflejos internos.



ÍNDICE

RESUMEN	1
PALABRAS CLAVE.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Generalidades de los yacimientos tipo MVT	5
1.2. Yacimientos tipo MVT en Perú: breve reseña de los estudios previos	7
1.3. Problemática-justificación	10
1.4. Objetivos del trabajo	11
1.5. Hipótesis.....	11
2. MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS	12
2.1. Muestreo y preparación de las muestras	12
2.2. Microscopio petrográfico	12
3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA.....	12
3.1. Situación geográfica.....	12
3.2. Situación geodinámica de las mineralizaciones tipo MVT en Perú	14
3.3. Geología del yacimiento de Shalipayco	16
4. RESULTADOS: MINERALOGÍA Y TEXTURAS.....	18
5. DISCUSIÓN: SECUENCIA PARAGENÉTICA	21
6. CONCLUSIONES.....	22
7. AGRADECIMIENTOS	23
8. REFERENCIAS	23
ANEXOS	26

INDICE DE ILUSTRACIONES

- Figura 1:** Ubicación de los yacimientos de tipo MVT estudiados sobre un mapa con unidades morfoestructurales (modificado de Basuki et al. 2008). Topografía tomada de JPL-NASA©..... 10
- Figura 2:** Ubicación geográfica del yacimiento Shalipayco, accesibilidad y puntos de referencia. Mapa base tomado de Google Earth. 13
- Figura 3:** Ubicación de los yacimientos MVT del Perú sobre las rocas carbonatadas aflorantes del grupo Pucará. Modificado de Dávila et al. (2000). 14
- Figura 4:** Mapa geológico del depósito Shalipayco. Modificado de Altman et al. (2017). 17
- Figura 5:** Microfotografías de secciones pulidas tomadas con luz reflejada sin analizador (A, C, E, G, I y K) y en nicoles cruzados (B, D, F, H, J y L) que muestran aspectos texturales de la mineralización metálica del depósito de Shalipayco 20
- Figura 6:** Secuencia paragenética del depósito Shalipayco. El grosor de las barras indica la abundancia relativa de los diferentes minerales o sus generaciones. El color de las barras correspondientes a las generaciones de esfalerita se aproxima al color que muestran los respectivos granos de esfalerita en muestra de mano. 21

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades de los yacimientos tipo MVT

Los yacimientos tipo Mississippi Valley (MVT por sus siglas en inglés) son yacimientos estratoligados de sulfuros encajados en rocas carbonatadas (Leach et al. 2010). Los productos básicos extraídos de la mayoría de yacimientos MVT son el zinc (Zn) y el plomo (Pb) y pueden contener cantidades económicas de otros metales como plata (Ag) y cobre (Cu) (Leach et al. 2010). Estos depósitos forman distritos extensos y representan el 24% de los recursos mundiales de Pb y Zn presentes en depósitos hospedados en rocas sedimentarias y volcánicas. En promedio, un depósito individual produce 7.0 Mt de mineral con leyes de 1.9% Pb, 6.0% Zn, 0.23% Cu y 32.5 g/t Ag (Leach et al. 2005).

Los depósitos MVT son epigenéticos, es decir, la mineralización se ha emplazado después de la litificación de la roca huésped que, generalmente, se encuentra en secuencias carbonatadas formadas en plataformas continentales o cinturones de empuje (Alldrick y Sangster 1995). Una característica que los distingue es que no muestran relación con actividad ígnea (Leach et al. 2005). La mayoría de los depósitos MVT se formaron entre los periodos Devónico-Pérmico y Cretácico-Terciario, caracterizados por una serie de eventos tectónicos globales como el ensamblaje de Pangea (Leach et al. 2010).

Los depósitos MVT generalmente se emplazan en dolomías y, en menor medida, en calizas o calizas dolomitizadas (Alldrick y Sangster 1995). Los cuerpos mineralizados en depósitos MVT pueden ser i) concordantes, formando cuerpos de reemplazamiento planos, trezados o lineales que tienen típicamente entre decenas y centenares de metros; o ii) discordantes, en brechas de colapso o cuerpos perpendiculares a la estratificación que pueden tener decenas de metros (Alldrick y Sangster 1995).

Texturas características en los depósitos de tipo MVT incluyen i) bandeo mineral de grano fino, ii) reemplazamiento (llegando a formar mineralizaciones de sulfuros masivos; el reemplazo puede ser notablemente selectivo), iii) coloforme – botroidal (a.k.a. “*schalenblende*”), iv) dendrítico (generalmente observado en granos de galena), v) brechas de colapso por disolución (pueden incluir brechas pre y sin-mineralización), vi) brechas de falla y sedimentarias, vii) “*snow-on-roof*” (sulfuros que recubren la parte superior de cristales o clastos de brechas en espacios abiertos), viii) pseudobrechas, ix) textura de cebra (reemplazo selectivo de roca caja y relleno de espacios abiertos con auto-organización a nivel atómico), x) ritmitas (bandas que contienen distintas generaciones de esfalerita o carbonato rítmicamente distribuidas, y xi) crecimientos de sulfuros similares a espeleotemas (variedad de estalactitas, estalagmitas y cortinas con forma de goteo) (Leach et al. 2010).

La mineralogía de los depósitos MVT es relativamente simple. La mineralización metálica está constituida principalmente por esfalerita y galena con concentraciones menores y variables de sulfuros de hierro y sulfosales. Los minerales de ganga incluyen dolomita, calcita, cuarzo y yeso y, usualmente en cantidades traza, barita y fluorita (Alldrick y Sangster 1995). Las principales fases de alteración hidrotermal incluyen carbonatos como dolomita y calcita, minerales producto de silicificación y filosilicatos como illita, clorita, moscovita, dickita y/o caolinita (Alldrick y Sangster 1995; Leach et al. 2005).

Los fluidos que transportan los metales en sistemas minerales tipo MVT son salmueras basales con temperaturas entre 50 a 250 °C y salinidades entre 10 a 30% en peso (wt. %) de NaCl equivalente (Leach et al. 2005). El azufre puede derivarse de una variedad de fuentes de la corteza como evaporitas, agua de mar connata, sulfuros diagenéticos, material orgánico que contiene azufre, entre otros (Leach et al. 2005). Las

fuentes de los metales presentes en este tipo de depósitos son las rocas del basamento y sus subproductos erosivos detríticos (Leach et al. 2010), y/o los hidrocarburos y sus aguas asociadas, recientemente estudiados por Saintilan et al. (2019).

1.2. Yacimientos tipo MVT en Perú: breve reseña de los estudios previos

En el Perú se formó un importante cinturón de depósitos MVT alojados en las rocas carbonatadas del Grupo Pucará (Oliveira et al. 2019). Existen estudios previos sobre los yacimientos de Shalipayco (Moritz et al. 1996; Altman et al. 2017; Oliveira 2019) y San Vicente (Fontboté y Gorzawski 1990; Spangenberg et al. 1999; Dávila et al. 2000; Badoux et al. 2001; Schutfort 2001; Rosas et al. 2007; Kelka y Koehn 2014), ubicados en la zona centro del Perú, y de Cañón de Florida (Basuki et al. 2008, Oliveira et al. 2019), Florcita (Basuki et al. 2008) y Cristal (Mondillo et al. 2018a, b) ubicados en el distrito de Bongará en el norte del Perú (Figura 1).

Para el depósito de Shalipayco, Altman et al. (2017) describen que la mineralización consiste en esfalerita, galena y minerales de ganga como pirita (incluyendo *var.* bravoíta), marcasita y carbonatos (dolomita y calcita) formando texturas como ritmitas, reemplazamientos, brechas de colapso y vetas. Oliveira (2019) realizó estudios isotópicos de S, C y O y microtermométricos en inclusiones fluidas e infirió procesos de sulfatorreducción termoquímica, bacteriana y/o posible craqueo térmico de materia orgánica acumulada en facies sabkha.

Badoux et al. (2001) realizaron un análisis estructural en el depósito de San Vicente y concluyeron que este yacimiento es un depósito sintectónico andino. Según este estudio, estructuras tensionales dentro de un modelo de zona de corte simple dextral se formaron a medida que avanzaba un empuje durante el emplazamiento tectónico de la granodiorita Tarma por encima de la secuencia Pucará, que encaja la mineralización (Badoux et al.

2001). La mineralogía metálica en este depósito ha sido descrita por Fontboté y Gorzawski (1990), Spangenberg et al. (1999), Dávila et al. (2000) y Badoux et al. (2001), quienes indican que está formada principalmente por esfalerita y galena, y por proporciones menores de pirita, marcasita, calcopirita, bournonita y otras sulfosales. Estos minerales metálicos junto con dolomita y calcita presentan texturas como i) bandeo tipo cebra, ii) reemplazamientos, iii) brechas de colapso y iv) venillas.

A partir de análisis isotópicos de Sr en minerales de mena y ganga del depósito San Vicente, Fontboté y Gorzawski (1990) proponen una interacción entre una salmuera basal rica en Sr radiogénico y la roca carbonatada encajante, la cual tiene composiciones isotópicas de Sr muy cercanas a las del agua de mar del Jurásico Inferior al Triásico Superior. Moritz et al. (1996) consideran que el enriquecimiento en ^{87}Sr en rocas carbonatadas de la base de la cuenca de Pucará y en diferentes generaciones de carbonatos en la mineralización MVT, con respecto al agua marina del Hettangiano y Toarciano, se debe a la interacción de los fluidos con rocas subyacentes a las rocas de la cuenca de Pucará (p.ej., intrusiones Permo-Triásicas - granito de San Ramón - y sus derivados clásticos en el Grupo Mitu).

Fontboté y Gorzawski (1990) también realizaron estudios isotópicos de O y C en la roca huésped de la mineralización en San Vicente: las relaciones isotópicas obtenidas coinciden con los rangos característicos de carbonatos marinos del Jurásico Inferior. Aunque el rango de relaciones isotópicas de O y C en las muestras estudiadas es relativamente estrecho, los autores reconocen una tendencia hacia valores más ligeros en las generaciones de carbonato tardías. Un cambio isotópico lento y continuo es atribuido por estos autores a condiciones de diagénesis de enterramiento y aumento de temperatura. Para el C, también se podría considerar una incorporación menor de carbono orgánico (Fontboté y Gorzawski 1990).

En cuanto a la composición isotópica de S en el depósito de San Vicente, Fontboté y Gorzawski (1990) y Spangenberg et al. (1999) hallaron una variación de $\delta^{34}\text{S}$ en sulfuros con un enriquecimiento en el isótopo pesado que atribuyeron a la presencia de S reducido abiogénicamente que habría derivado de sulfatos, aguas connatas y/o evaporitas marinas del Triásico Medio al Jurásico tardío. Adicionalmente, Fontboté y Gorzawski (1990) realizaron cálculos geotermométricos en sulfuros y mediciones microtermométricas en inclusiones fluidas y obtuvieron temperaturas de entre 70 y 140 °C que se habrían alcanzado por enterramiento durante el Jurásico Superior.

En los depósitos de Cañón de Florida y Florcita, Basuki et al. (2008) describen que la mineralización está compuesta mayoritariamente por esfalerita, galena y pirita. Específicamente, en Cañón de Florida estos autores han identificado dos tipos de esfalerita: i) una esfalerita 1 de color marrón rojizo oscuro y ii) una esfalerita 2 de color amarillo pálido. Las texturas identificadas en la mineralización incluyen “snow-on-roof”, vetillas, brechas de disolución y relleno de espacios abiertos (Basuki et al. 2008). Adicionalmente, Basuki et al. (2008) concluyeron a partir de estudios isotópicos de S que la fuente de S para Florcita habría sido el sulfato del agua marina del Cretácico tardío y para Cañón de Florida, evaporitas Jurásicas-Triásicas. Además, sugieren una reducción termoquímica de sulfato como principal mecanismo de obtención de H_2S necesario para la precipitación de sulfuros, y un aporte de S reducido por craqueo térmico de compuestos formados por reducción de sulfato bacteriano en el caso de Cañón de Florida.

En el depósito Cristal, Mondillo et al. (2018a) describen que la mineralización de sulfuros consiste principalmente en esfalerita diseminada de color marrón oscuro y cantidades menores de galena y pirita. La mineralización se encuentra asociada a brechas de colapso y vetas. Además, Mondillo et al. (2018a) realizaron estudios isotópicos de S, O y Pb. Los resultados de S sugieren sulfatoreducción termoquímica del sulfato y los

resultados de Pb apuntan a rocas del basamento Paleozoico como fuente de los metales. Por su parte, Mondillo et al. (2018b), mediante el uso del geotermómetro TGGIMFis en esfalerita propuesto por Frenzel et al. (2016), concluyeron que su cristalización se habría dado a una temperatura de 225 ± 50 °C, que sería anormalmente alta para un depósito MVT.



Figura 1: Ubicación de los yacimientos de tipo MVT estudiados sobre un mapa con unidades morfoestructurales (modificado de Basuki et al. 2008). Topografía tomada de JPL-NASA©.

1.3. Problemática-justificación

La empresa Nexa Resources Perú S.A.A. es propietaria del 75% del proyecto Shalipayco en *joint-venture* con Pan American Silver Peru. La inversión global para este proyecto es de 91 millones de dólares americanos (MINEM 2019). Los recursos minerales estimados son de 9.47 Mt de mineral con leyes de 4.44% de Zn, 0.48% de Pb y 31.1 g/t de Ag. La capacidad de la planta proyectada podría procesar 3 000 t/d con una

producción anual estimada de 734 439 oz de Ag, 2 989 TMF de Pb y 42 881 TMF de Zn (MINEM 2019). Nexa se encuentra desarrollando el estudio de ingeniería de la etapa de prefactibilidad del proyecto, gestionando la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental detallado (EIAAd) y negociando la licencia social con las comunidades (MINEM 2019).

Como proyecto relativamente nuevo, no existen estudios detallados publicados sobre la petrografía y mineralogía del depósito Shalipayco. En este sentido, es importante realizar estudios petrográficos para confeccionar una secuencia paragenética que permita entender la evolución temporal de la mineralización. Además, conocer la mineralogía y sus texturas puede ser de utilidad para optimizar el procesamiento mineralúrgico-metalúrgico de las menas.

1.4. Objetivos del trabajo

El objetivo de este estudio es determinar la mineralogía y texturas de la mineralización metálica del depósito MVT de Shalipayco para establecer su evolución temporal.

Objetivos específicos:

- Caracterizar petrográficamente las menas.
- Catalogar las diferentes generaciones o tipos texturales de esfalerita.
- Construir una secuencia paragenética.

1.5. Hipótesis

- Las texturas predominantes en el yacimiento MVT de Shalipayco son las típicamente observadas en yacimientos de esta tipología y podrían incluir bandeo tipo cebra, reemplazamiento, bandeo colorme y brechas de colapso por disolución.

- El yacimiento MVT de Shalipayco contiene esfalerita como principal mineral de mena; además, existen distintas generaciones de esfalerita.
- Otro mineral de mena volumétricamente importante en la mineralización MVT de Shalipayco es la galena.

2. MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

2.1. Muestreo y preparación de las muestras

Se han estudiado un total de 16 muestras del depósito Shalipayco procedentes de sondajes diamantinos. 11 muestras provienen del manto Intermedio y 5 muestras, del manto Resurgidora. El Anexo I ofrece la lista de muestras estudiadas en esta tesis, su procedencia y descripción macroscópica.

2.2. Microscopio petrográfico

Se fabricaron 16 secciones pulidas en las instalaciones del laboratorio QEMSCAN en la Sección de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Estas secciones han sido estudiadas mediante un microscopio petrográfico marca “Zeiss Primotech” de polarización con luz transmitida y reflejada equipado con una cámara digital. El Anexo II contiene fichas individuales con la petrografía de cada sección pulida estudiada.

3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

3.1. Situación geográfica

El yacimiento de Shalipayco se encuentra ubicado en el departamento de Junín, provincia de Carhuamayo, localidad de Shalipayco, a 170 km de Lima y a 35 km de Cerro de Pasco (Figura 2). El proyecto se encuentra a 10°51'21" S de latitud y 75°58'26" O de longitud a una altura promedio de 4 400 m.s.n.m. y se extiende ~ 29 km en dirección NO-SE y ~ 15 km en dirección SO-NE (Altman et al. 2017, MINEM 2018).

El acceso a este depósito desde Lima es a través de la Carretera Central en dirección noreste con un recorrido de 185 km hasta La Oroya, después hacia el norte por la carretera 3N por una distancia de 85 km hasta Carhuamayo y finalmente hacia el noreste por una distancia de 17 km por una carretera sin asfalto hasta el proyecto Shalipayco (Altman et al. 2017).

El clima en el área se clasifica como “frío” o “boreal” con temperaturas anuales promedio de 7 °C y mínimas de -5.7 °C, que se alcanzan en el periodo de invierno entre mayo y septiembre. Se registran precipitaciones temporales y la vegetación natural consiste principalmente en pastos que forman praderas que se utilizan para el pastoreo de ganado. El área del proyecto tiene un amplio registro de actividad minera, así como los recursos de personal y servicios generales que se necesitan para el desarrollo del proyecto (Altman et al. 2017).

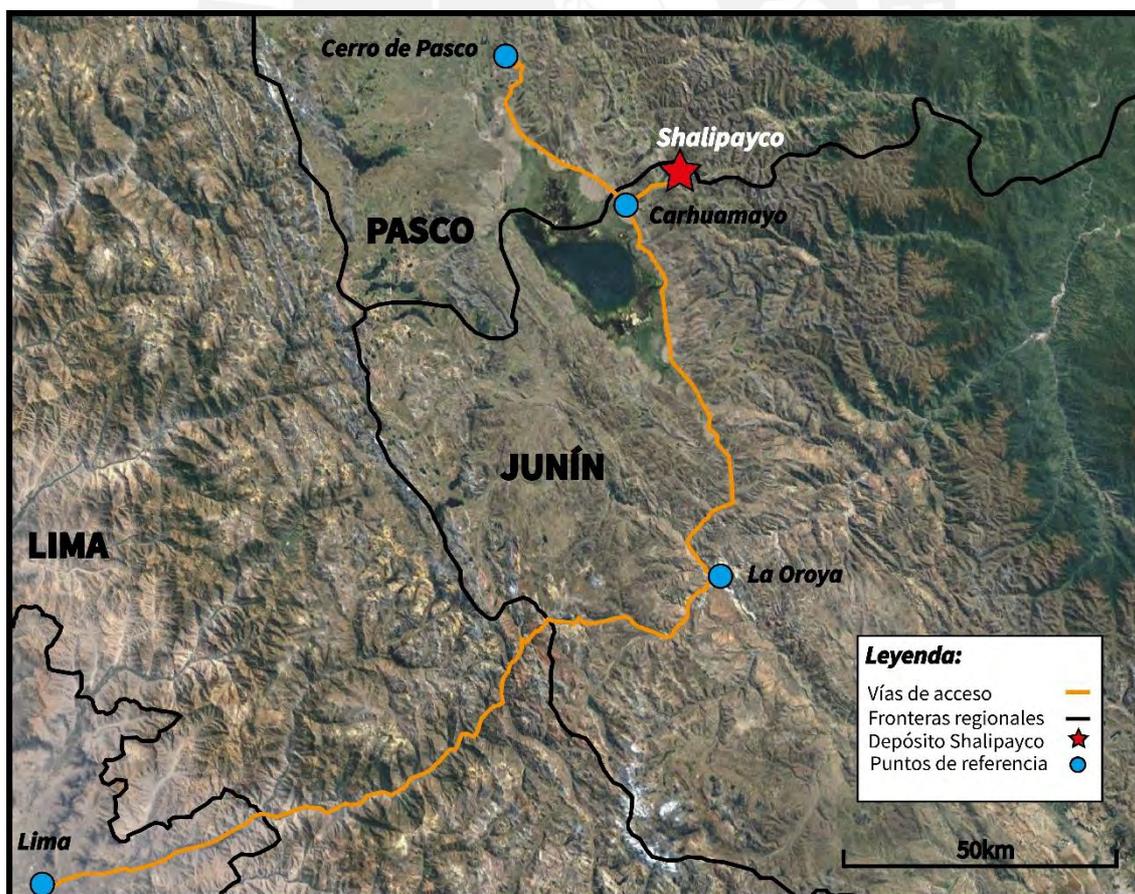


Figura 2: Ubicación geográfica del yacimiento Shalipayco, accesibilidad y puntos de referencia. Mapa base tomado de Google Earth.

3.2. Situación geodinámica de las mineralizaciones tipo MVT en Perú

La principal franja metalogénica de depósitos MVT se sitúa en la parte oriental de la cuenca Pucará en la zona Subandina del centro y norte del Perú (Figura 3) (Benavides 1999). En esta franja se ha desarrollado un importante sistema de fallas con dirección NO-SE y cabalgamientos entre la Cordillera Oriental y la Zona Subandina. El depósito de Shalipayco se encuentra al oeste de esta franja en anticlinales cerrados. A continuación se describen algunas características estructurales de los yacimientos MVT de Perú.

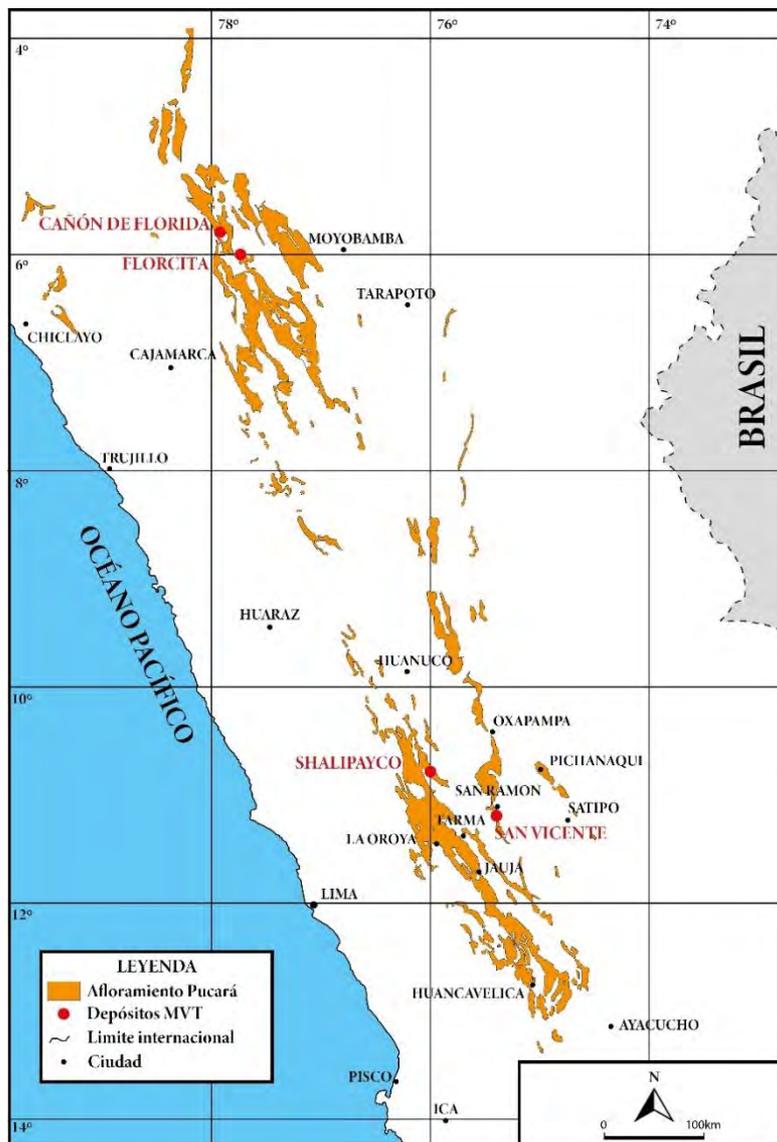


Figura 3: Ubicación de los yacimientos MVT del Perú sobre las rocas carbonatadas aflorantes del grupo Pucará. Modificado de Dávila et al. (2000).

En el área del proyecto Shalipayco se observa un moderado plegamiento en las calizas del grupo Pucará, con presencia de pliegues monoclinales sumergidos entre 30 y 45 °

hacia el suroeste (INGEMMET 1996 visto en Altman et al. 2017). Estructuras de primer orden en la zona incluyen el empuje Ulcumayo-San Rafael – donde el Grupo Mitu se superpone al Grupo Pucará – y el empuje Yanacocha-Quilcatacta – donde las calizas del Grupo Condorsinga se han superpuesto sobre sí mismas. Además, se ha reconocido un segundo sistema estructural conocido como Sistema Transversal que incluye las fallas de Eddy, San Teodoro, Virgencita, Pucará y Santa Inés, las cuales pudieron actuar como canales de alimentación para la mineralización según Altman et al. (2017).

En el área de San Vicente se ha registrado una dinámica de formación de *horsts* y *grabens* que habría controlado las facies en los márgenes de la cuenca, la formación de barras oolíticas y la distribución de las estructuras que permitieron la formación de trampas de hidrocarburos (Dávila et al. 2000). A partir de diferencias notables en las potencias de las series sedimentarias, Dávila et al. (2000) indican que durante la formación de Pucará habría existido una tectónica de bloques en la que se habrían establecido conductos que permitieron el emplazamiento de la mineralización. Entre el Cretácico Superior y el Terciario tuvieron lugar eventos compresivos que ocasionaron que la granodiorita Tarma y el basamento metamórfico precámbrico se emplazaran sobre las rocas carbonatadas de Pucará en la zona de empuje Utcuyacu (Dávila et al. 2000; Badoux et al. 2001).

En el área de Bongará se han registrado estructuras con direcciones regionales NO-SE y NNO-SSE, y fallas locales con dirección NE-SO (Carlotto et al. 2009). En esta zona, los sistemas de fallas dominantes son fallas inversas con fallas normales subordinadas (Basuki et al. 2008). Además, se han encontrado registros de tectónica salina que pudo haber sido un factor importante en la formación de depósitos MVT en la región (Oliveira et al. 2019).

3.3. Geología del yacimiento de Shalipayco

La secuencia estratigráfica de la zona inicia con esquistos micáceos y gneis pertenecientes al complejo metamórfico de Maraynioc (Mégard 1987; Fontboté y Gorzawski 1990). Sobre éstos se disponen pizarras de edad Ordovícica de la Formación Contaya (Scherrenberg et al. 2012; Altman et al. 2017), y filitas débilmente metamorfoseadas, pizarras y cuarcitas del grupo Excelsior, de edad Devónica (Mégard 1987; Moritz et al. 1996). Sobreyaciendo estas unidades se encuentran las rocas clásticas continentales del Grupo Ambo y los carbonatos de los Grupos Tarma y Copacabana, sobre los cuales se encuentran las rocas del Grupo Mitu. Por encima, con una evidente discordancia erosiva, se encuentran las calizas y dolomías del Grupo Pucará (Figura 4) (Altman et al. 2017). En la zona del yacimiento de Shalipayco se han identificado las tres formaciones del grupo Pucará, de las cuales la Formación Chambará es la que está mejor expuesta y la que aloja principalmente la mineralización metálica de Pb-Zn (Altman et al. 2017).

La mineralización se dispone principalmente en forma de mantos de reemplazamiento. Los principales son Resurgidora, Intermedio, San Luis, Pucará y Virgencita. La mineralización de este depósito está constituida por esfalerita y galena, acompañadas por trazas de pirita, marcasita y bravoíta (variedad niquelífera de pirita). Los principales minerales de ganga son barita, dolomita, calcita, cuarzo y doloesparita (Altman et al. 2017). De acuerdo a Altman et al. (2017), la mineralización presenta estructuras y texturas diversas que incluyen ritmitas, reemplazamiento, brechas de colapso y de mosaico y vetillas.

Los mantos Intermedio y Resurgidora pueden alcanzar hasta 3-4 km de longitud, respectivamente, con un espesor de hasta 18 m y están alojados en rocas carbonatadas con evidencias importantes de facies evaporíticas. El manto Intermedio contiene vestigios

de una dolomía porosa que habría servido como nivel permeable para hidrocarburos y gases de azufre reducidos, y una dolomita de grano fino por encima del manto que podría haber actuado como trampa de esos hidrocarburos y gases de azufre proporcionando un ambiente propicio para la mineralización (Altman et al. 2017). La mineralización en los mantos Pucará y San Luis se encuentra en fracturas y en zonas ricas en materia orgánica dentro de caliza bituminosa, y en el manto Virgencita se encuentra como reemplazamiento de una brecha sedimentaria (Altman et al. 2017).

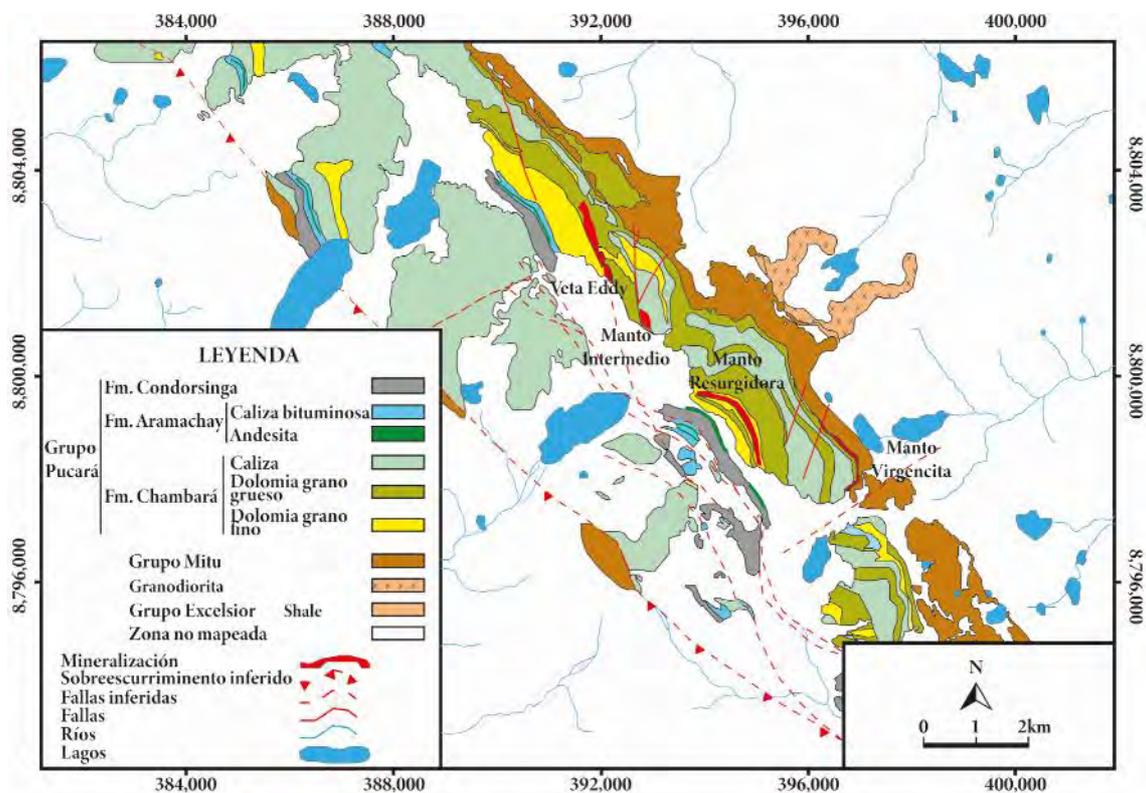


Figura 4: Mapa geológico del depósito Shalipayco. Modificado de Altman et al. (2017).

4. RESULTADOS: MINERALOGÍA Y TEXTURAS

La mineralización metálica en las muestras estudiadas del depósito de Shalipayco (Manto Intermedio y Manto Resurgidora) está constituida esencialmente por esfalerita, que aparece acompañada por proporciones menores de galena, marcasita y pirita. La mineralogía no metálica que acompaña a la mena está conformada principalmente por dolomita y, en menor proporción, por calcita.

Los granos de esfalerita presentan tamaños micrométricos a milimétricos (>1 mm) y superficies generalmente libres de inclusiones visibles de otros minerales (Figura 5). A nivel mesoscópico se puede observar que la esfalerita se presenta i) diseminada en carbonatos, ii) formando masas anhedrales y bandas de sobrecrecimiento – a veces reemplazada por generaciones más tardías de esfalerita y/o carbonatos, y iii) en rellenos de brechas de colapso. La zonación de los granos de esfalerita tanto a escala mesoscópica como microscópica, una rica gradación de colores (evidenciada también en sus reflejos internos a nivel microscópico) y las relaciones texturales de corte, reemplazamiento y sobrecrecimiento han permitido catalogar hasta 5 tipos texturales/generaciones de este mineral en Shalipayco:

- Esfalerita 1: se caracteriza por aparecer en forma de cristales anhedrales a subhedrales de color negro con abundante porosidad secundaria y ausencia de reflejos internos (Figuras 5A-B).
- Esfalerita 2: forma granos anhedrales a subhedrales que presentan reflejos internos de color marrón con tonalidades oscuras en los centros y más claras hacia los bordes (Figuras 5C-F). En algunos sectores se observa como reemplazamiento de la esfalerita 1 (ver Anexo II, muestra SH-120).

- Esfalerita 3: forma cristales milimétricos subhedrales en los que a menudo algunas de sus caras son rectilíneas. Se caracteriza por presentar reflejos internos de color pardo rojizo (Figuras 5A-B, G-H). Ha crecido sobre, y ha reemplazado localmente a, granos de esfalerita 1 y 2.
- Esfalerita 4: aparece en forma de agregados de cristales anhedrales que se caracterizan por presentar reflejos internos de color pardo amarillento con tonalidades intensas (Figuras 5A-B) y claras (Figuras 5K-L). Esta esfalerita ha crecido de forma pasiva sobre los bordes de los tres tipos de esfalerita anteriormente mencionadas y ha ocupado el espacio intersticial entre éstas.
- Esfalerita 5: forma agregados de cristales anhedrales sub-milimétricos y presenta reflejos internos de color blanco. Generalmente aparece como relleno intersticial entre granos de esfalerita 1 a 4 o como relleno de microfracturas que han cortado a estas generaciones de esfalerita (Figuras 5G-H). Adicionalmente, forma agregados aislados en carbonato (Figuras 5K-L).

Se han diferenciado hasta tres tipos texturales de pirita que podrían corresponder a diferentes generaciones de la misma, incluyendo i) granos subhedrales a anhedrales individuales de tamaño micrométrico (de hasta 200 μm) diseminados en carbonatos, los cuales a su vez han sido reemplazados parcialmente por esfalerita 1 y 2 (Figura 5I); ii) granos reemplazando a esfalerita 1 a 3 a partir de sus contactos con carbonato (Figura 5I); y iii) finas diseminaciones (de hasta 10 μm) sobre los agregados de esfalerita 1 a 4 y carbonatos (Figura 5A). Los dos primeros tipos texturales de pirita han sido reemplazados parcialmente por marcasita (Figuras 5E-F, I-J). Finalmente, la galena aparece como reemplazamiento de esfalerita 1 a 4 a partir de microfracturas, bordes e intersticios (Figuras 5C-D).

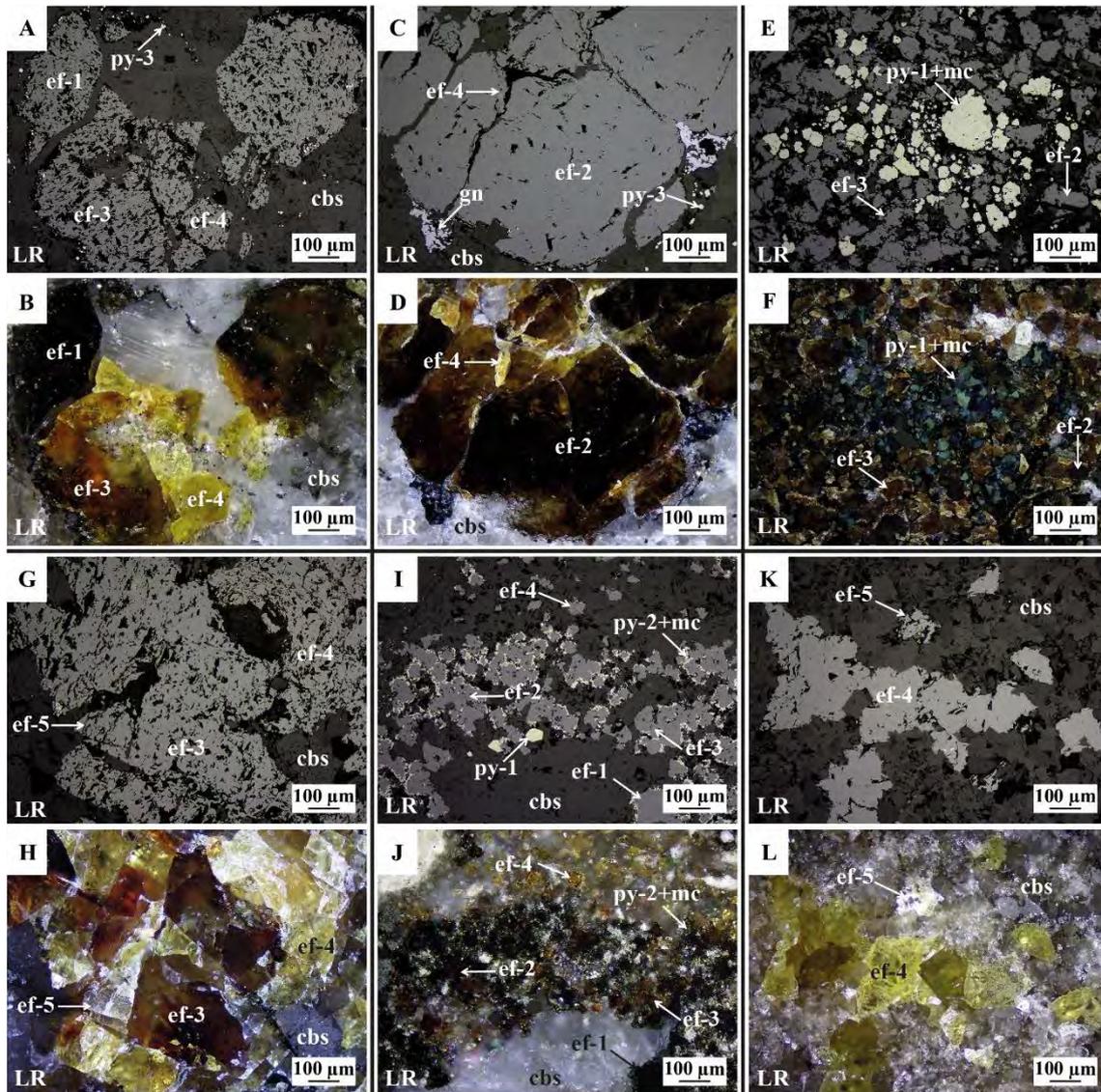


Figura 5: Microfotografías de secciones pulidas tomadas con luz reflejada sin analizador (A, C, E, G, I y K) y en nicols cruzados (B, D, F, H, J y L) que muestran aspectos texturales de la mineralización metálica del depósito de Shalipayco. A-B) Agregados anhedrales de esfalerita 1 y esfalerita 3 reemplazados por esfalerita 4 y carbonatos, y diseminación de pirita 3 en carbonatos. C-D) Agregados anhedrales de esfalerita 2 con esfalerita 4 intersticial. Además, se observan agregados de galena en bordes de esfalerita 2 y diseminación de pirita 3 en carbonatos. E-F) Agregados de esfalerita 2, esfalerita 3 y pirita 1-marcasita. G-H) Agregados de cristales subhedrales de esfalerita 3 y relleno del espacio intersticial por esfalerita 4 y esfalerita 5. I-J) Cristales subhedrales individuales de pirita 1 reemplazados por agregados de esfalerita 1 a 3. Además, se observa esfalerita 4 en matriz de carbonatos. Parte de la esfalerita 1 a 3 presenta acumulación de pirita 2-marcasita en sus contactos con la matriz carbonatada. K-L) Cristales de esfalerita 4 y esfalerita 5 en matriz de carbonatos. Abreviaturas: cbs: carbonatos; ef: esfalerita; gn: galena; mc: marcasita; py: pirita; LR: fotos tomadas con luz reflejada.

5. DISCUSIÓN: SECUENCIA PARAGENÉTICA

A partir de los minerales identificados y sus relaciones texturales, se ha elaborado la secuencia paragenética que aparece en la Figura 6. El ensamble mineralógico relativamente simple encontrado en las muestras del depósito de Shalipayco, con predominio de esfalerita y galena y proporciones traza de sulfuros de hierro, es típico de los yacimientos MVT (ver trabajos de síntesis realizados por Alldrick y Sangster 1995 y Leach et al. 2005).

Mineral	Fórmula	Mineralización MVT Shalipayco
Carbonatos		— — — — —
Pirita	FeS ₂	— — — — —
Marcasita		— — — — —
Esfalerita 1	ZnS	— — — — —
Esfalerita 2		— — — — —
Esfalerita 3		— — — — —
Esfalerita 4		— — — — —
Esfalerita 5		— — — — —
Galena	PbS	— — — — —

Figura 6: Secuencia paragenética del depósito Shalipayco. El grosor de las barras indica la abundancia relativa de los diferentes minerales o sus generaciones. El color de las barras correspondientes a las generaciones de esfalerita se aproxima al color que muestran los respectivos granos de esfalerita en muestra de mano.

Desde el punto de vista de la evolución de la paragénesis del depósito de Shalipayco, a grandes rasgos se observa una primera generación de carbonatos que cristalizó junto con una primera generación de pirita (pirita 1) que fue reemplazada por esfalerita (esfalerita 1 y 2) y por marcasita. Una tercera generación de esfalerita (esfalerita 3) cristalizó posteriormente y una segunda generación de pirita (pirita 2) con marcasita habría reemplazado a la esfalerita 1, 2 y 3 según sugieren las observaciones texturales. Posteriormente se habría dado la cristalización de una cuarta generación de esfalerita (esfalerita 4), a la que habría seguido una quinta generación de esfalerita (esfalerita 5) que habría cementado y cortado todas las relaciones texturales descritas previamente.

Finalmente, habría cristalizado galena, una segunda generación de carbonatos y una tercera generación de pirita (pirita 3) diseminada.

Por lo tanto, se han catalogado hasta 5 tipos texturales/generaciones de esfalerita. La primera, que es de color negro, carece de reflejos internos y las 4 siguientes, que tienen reflejos internos, van gradando desde colores oscuros a otros mucho más claros en el siguiente orden: marrón oscuro, pardo rojizo, pardo amarillento y blanco. Según Altman et al. (2017), estos tipos de esfalerita se habrían formado en tres fases: i) diagenética, en la que se formó esfalerita y también la primera generación de pirita junto con carbonatos de grano grueso; ii) epigenética, a partir de fluidos de baja temperatura, con cristalización de esfalerita y una segunda generación de pirita; y iii) brechamiento – dentro de la fase epigenética, pero con relleno de esfalerita, galena y carbonatos en espacios abiertos.

6. CONCLUSIONES

- El depósito de Shalipayco se caracteriza por una mineralización metálica dominada por esfalerita y galena y proporciones menores de marcasita y pirita, además de carbonatos hidrotermales. La mineralización se presenta como i) diseminación en carbonatos, ii) masas anhedrales y bandas de sobrecrecimiento y reemplazamiento, y iii) relleno de brechas de colapso.
- Se han identificado 5 tipos texturales/generaciones de esfalerita, las cuales se diferencian entre sí por su coloración (a visu) y reflejos internos (en microscopio), y por sus relaciones de corte y/o reemplazamiento y/o sobrecrecimiento. La primera generación es de color negro y carece de reflejos internos y las 4 siguientes gradan desde marrón oscuro a incoloras y reflejos internos que varían de color en el siguiente orden: marrón oscuro, pardo rojizo, pardo amarillento y blanco.

- La secuencia paragenética elaborada para las mineralizaciones estudiadas del depósito de Shalipayco inicia con la cristalización de una primera generación de carbonatos junto con una primera generación de pirita reemplazada por esfalerita (generaciones 1 y 2), y marcasita. Después, cristalizó una esfalerita 3 y una pirita 2 con marcasita. Posteriormente, cristalizó una esfalerita 4 seguida por una esfalerita 5 y, finalmente se dio la cristalización de una generación de galena, una segunda generación de carbonatos y una pirita 3.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi mamá Filomena Núñez y a mis hermanos Jessica, Velia, Enrique y Fredd, por darme soporte en todo momento y ser mi principal motivación.

Agradezco a mi asesor de tesis, Dr. Lisard Torró i Abat, y a mi profesor, M.Sc. Diego Benites Negrón, por enseñarme, guiarme y apoyarme en todo el desarrollo de la tesis.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos, Gabriel Tasayco y Johann Culqui, por su amistad y apoyo incondicional.

“Este trabajo fue financiado por el CONCYTEC-FONDECYT en el marco de la convocatoria E041- 01 [número de contrato 107-2018-FONDECYT-BM—IADT-AV].”

8. REFERENCIAS

Alldrick D, Sangster D (1995) Mississippi Valley-type Pb-Zn. En: Capítulo E de British Columbia Geological Survey (1995) British Columbia Mineral Deposit Profiles.

Altman K, Carlsson J, Robson D, Theben S (2017) Technical Report on the Preliminary Economic Assessment of the Shalipayco Project, Junín Region, Peru.

Badoux V, Moritz R, Fontboté L (2001) The Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit of San Vicente, Central Peru: An Andean syntectonic deposit. Mineral deposits at the beginning of the 21st century:191-195.

Basuki N, Taylor B, Spooner E (2008) Sulfur Isotope Evidence for Thermochemical Reduction of Dissolved Sulfate in Mississippi Valley-Type Zinc-Lead Mineralization, Bongara Area, Northern Peru. *Economic Geology* 103: 783–799.

Benavides V (1999) Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle. *Society of Economic Geologists Especial Publication* 7:61-107.
<https://doi.org/10.5382/sp.07.03>

Carlotto V, Quispe J, Acosta H, Rodríguez R, Romero D, Cerpa L, Mamani M, Díaz-Martínez E, Navarro P, Jaimes F, Velarde T, Lu S, Cueva E (2009) Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 103:1-89.

Dávila D, Fontboté L, Febres O, Oldham L (2000) Exploración y geología del yacimiento San Vicente. En: *Yacimientos minerales peruanos, Primer volumen de monografías. Instituto Ingenieros de Minas del Perú* 1:305-328.

Fontboté L, Gorzawski H (1990) Genesis of the Mississippi Valley-Type Zn-Pb Deposit of San Vicente, Central Peru: Geologic and Isotopic (Sr, O, C, S, Pb) Evidence. *Economic Geology* 85:1402-1437.

Frenzel M, Mikolajczak C, Reuter M, Gutzmer J (2017) Quantifying the relative availability of high-tech by-product metals – The cases of gallium, germanium and indium. *Resources Policy* 52:327-335.

Kelka U, Koehn D (2014) On the origin of zebra textures in Mississippi Valley-Type Pb-Zn Deposits with a special emphasis on the San Vicente Mine, Peru. *Geophysical Research Abstracts* 16.

Leach D, Sangster D, Kelley K, Large R, Garven G, Allen C, Gutzmer J, Walters S (2005) Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits: A Global Perspect. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume:561–607.

Leach D, Taylor R, Fey D, Diehl S, Saltus R (2010) A Deposit Model for Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Ores, chap. A of *Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report* 2010–5070–A.

Mégard F (1984) The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society* 141:893-900.
doi: 10.1144/gsjgs.141.5.0893

Mégard F (1987) *Etude géologique des Andes du Pérou central. ORSTOM Mémoire* 86:306.

MINEM (Ministerio de Energía y Minas) (2019) *Cartera de Proyectos de Construcción de Mina.*
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/INVERSION/2019/CP2019-SET2019%20ESP.pdf>

MINEM (Ministerio de Energía y Minas) (2018) Mapa de Proyectos Mineros y principales unidades de exploración. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/MAPAS/2018/2018PROYECTOS.pdf>

Mondillo N, Arfé G, Boni M, Balassone G, Boyce A, Joachimski M, Kang J, Villa I (2018a) The Cristal Zinc prospect (Amazonas region, northern Peru). Part I: New insights on the sulfide mineralization in the Bongará province. *Ore geology Reviews* 94:261-276.

Mondillo N, Giuseppe A, Herrington R, Boni M, Wilkinson C, Mormone A (2018b). Germanium enrichment in supergene settings: evidence from the Cristal nonsulfide Zn prospect, Bongará district, northern Peru. *Mineralium Deposita* 53:155–169. <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0781-1>

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.

Oliveira S, Leach D, Juliani C, Monteiro L, Johnson C (2019) The Zn-Pb Mineralization of Florida Canyon, an Evaporite-Related Mississippi Valley-Type Deposit in the Bongará District, Northern Peru. *Economic Geology* 114:1621–1647.

Oliveira S (2019) Geologia e gênese dos depósitos de Zn-Pb de Shalipayco e Florida Canyon, centro-norte do Peru.

Rosas S, Fontboté L, Tankard A (2007) Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru. *Journal of South American Earth Sciences* 24:1-24.

Saintilan N, Spangenberg J, Chiaradia M, Chelle-Michou C, Stephens M, Fontboté L (2019) Petroleum as source and carrier of metals in epigenetic sediment-hosted mineralization. *Scientific reports* <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44770-7>

Scherrenberg A, Jacay J, Holcombe R, Rosenbaum G (2012) Stratigraphic variations across the Marañón Fold-Thrust Belt, Peru: Implications for the basin architecture of the West Peruvian Trough. *Journal of South American Earth Sciences* 38:147-158.

Schutfort E (2001) The Genesis of the San Vicente Lead Zinc Rhythmite Deposit, Peru - a Petrologic, Geochemical, and Sulfur Isotope Study.

Spangenberg J, Fontboté L, Macko S (1999) An Evaluation of the Inorganic and Organic Geochemistry of the San Vicente Mississippi Valley-Type Zinc-Lead District, Central Peru: Implications for Ore Fluid Composition, Mixing Processes, and Sulfate Reduction. *Economic Geology* 94:1067-1092.

ANEXOS

Anexo I: Muestras estudiadas, procedencia y descripción macroscópica.

SHALIPAYCO											
Muestra	UTM E	UTM N	Longitud	Latitud	Elevación	Drill core	Profundidad	Manto	Minerales	Textura, secuencia	Otros comentarios
TP-1524437	392923.63	8800668.07	-75.979616	-10.847881	4244	SH-76	110.5 - 110.59	Manto Intermedio	ef, py	Gn diseminada <1%.	Dolomía, Metadolomía
SH-104-TP-1526158	392712.16	8800630.69	-75.981551	-10.848213	4099	SH-104	229.25 - 229.34	Manto Intermedio	ef	Escasas venillas y pseudomorfos de cc, ef diseminada	Dolomía, Metadolomía
SH-212-TP-1548884	391987.39	8802288.77	-75.988132	-10.833198	4300	SH-212	179.55 - 179.65	Manto Intermedio	ef		Dolomía, Metadolomía
SH-59-TP-1521040	392796.29	8800531.43	-75.980785	-10.849113	4123	SH-59	210.1 - 210.2	Manto Intermedio	ef	Pseudobrecha. Calcita en cavidades kársticas, ef dieminada en fracturas, crackle breccia	Dolomía, Metadolomía
SH-157-TP-1539052	392744.76	8800531.89	-75.981256	-10.849107	4100	SH-157	250.5 - 251.5	Manto Intermedio	ef, py	Escasos pseudomorfos de cc, estilolitos, ef diseminada, py en patch	Dolomía, Metadolomía
SH-227-TP-1549036	392942.00	8800584.00	-75.979450	-10.848642	4329	SH-227	153 - 153.7	Manto Resurgidora	ef	Brecha intraformacional. Evaporítica, ef como matriz.	Dolomía, Metadolomía
PESHA000004 PEDC0000173	394498.88	8799241.52	-75.965247	-10.860826	4425	PESHD000001	79.7 - 79.8	Manto Resurgidora	ef, gn		Dolomía, Metadolomía

SH-120-TP-1528304	392738.04	8800650.45	-75.981314	-10.848035	4201	SH-120	129.45 - 129.54	Manto Resurgidora	ef, gn	Brechada. Clastos de dolomía mudstone, matriz de sulfuros y cc, cavidades karsticas, ef masiva y venillas, venillas de gn (<1%).	Evaporita
SH-167-TP-154465	392274.63	8801430.17	-75.985530	-10.840971	4247	SH-167	136.6 - 136.69	Manto Intermedio	ef, py	Venillas y pseudomorfos de cc, cavidades karsticas, frac+, ef en venillas y diseminada <1%, py patch <1%	Dolomía, Metadolomía
SH-31-TP-1511385	392184.95	8801171.39	-75.986358	-10.843308	4053	SH-31	365 - 365.1	Manto Intermedio	ef, gn, py	Venillas de cc, ef (40%) masiv, gn masiva	Dolomía, Metadolomía
SH-187-TP-1542565	393246.44	8799807.10	-75.976688	-10.855676	4093	SH-187	248.7 - 248.79	Manto Intermedio	ef	Escasas venillas y pseudomorfos de cc, ef diseminada y venillas	Dolomía, Metadolomía
SH-191-TP-1542927	393506.21	8799598.32	-75.974318	-10.857571	4154	SH-191	205.9 - 206	Manto Resurgidora	ef, gn	Venillas de brt y cc, pseudomorfos de cc, estilolitos rellenos de bitumen, ef diseminada, gn patch <1%	Dolomía, Metadolomía
SH-84-TP-1525057	392769.43	8800615.97	-75.981028	-10.848348	4144	SH-84	191.9 - 191.99	Manto Intermedio	ef	Brechada. Venillas de cc, estilolitos, ef diseminada 4%	Evaporita

SH-233-TP-1549582	393149.92	8800386.26	-75.977554	-10.850436	4251	PESHDD0233	102.6 - 102.69	Manto Intermedio	ef, gn	Escasas venillas de cc, estilolitos rellenos de bitumen y py <1%, ef masiva y diseminada, gn masiva y patch.	Dolomía, Metadolomía
SH-192-TP-1543077	392406.00	8801076.00	-75.984339	-10.844177	4333	SH-192	184.2 - 185.4	Manto Resurgidora	ef, gn, py	Homolítica. Venillas y pseudomorfos de cc, ef en matriz 7%, gn patch <1%, py frac<1%	Brecha sedimentaria
SH-231-TP-1549473	393084.86	8800325.11	-75.978151	-10.850987	4198	PESHDD0231	139.45 - 139.54	Manto Intermedio	ef	Horizontes de brecha evaporítica, escasas venillas y pseudomorfos de cc, estilolitos rellenos de bitumen, ef diseminada y venillas 12%.	Dolomía, Metadolomía

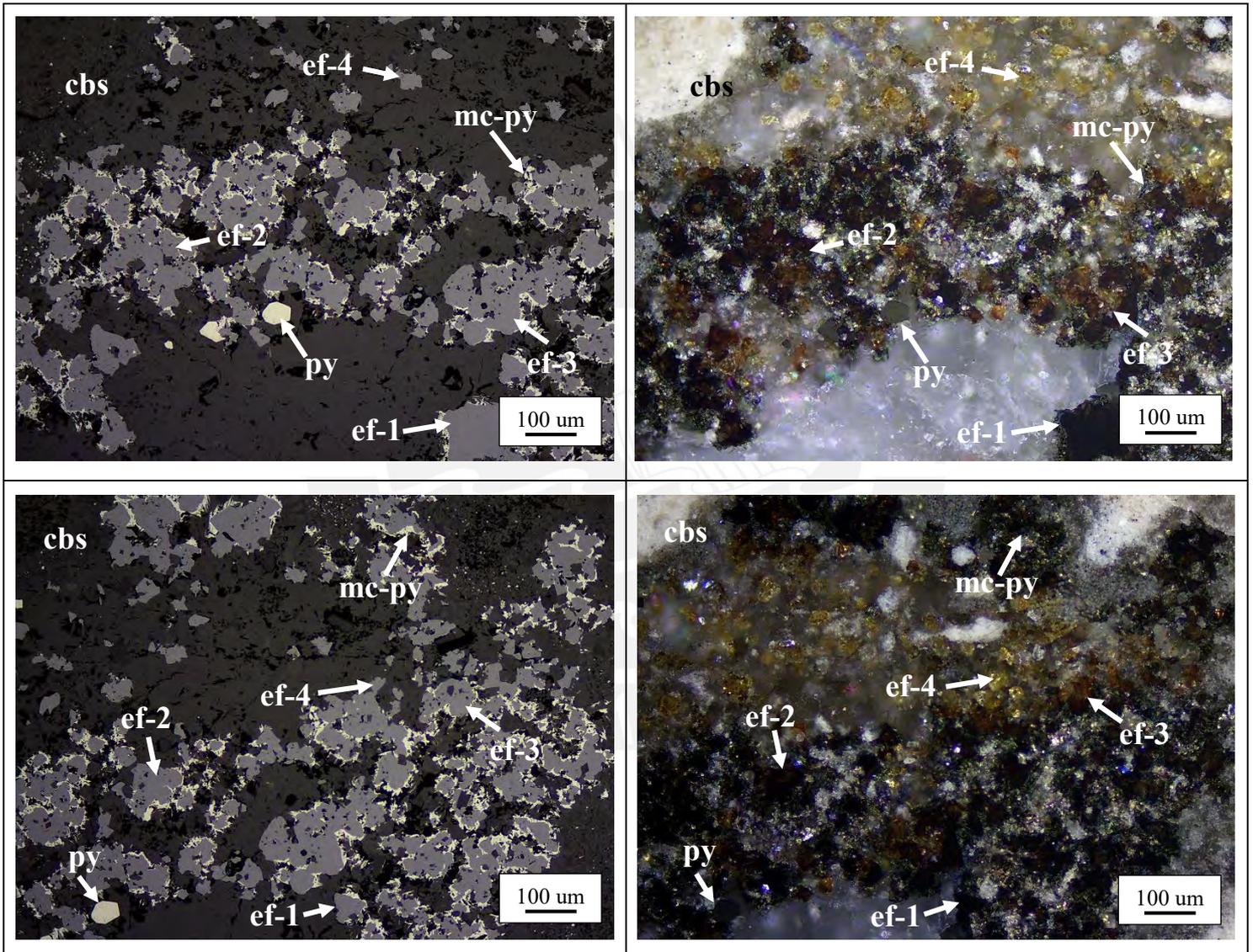
Anexo II: Fichas individuales con la descripción de cada sección pulida

PESHA-004

Mineralogía: ef-1 + ef-2 + ef-3 + ef-4 + cbs ± mc-py ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef-1; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef-2; reflejos marrón oscuro), esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) y esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento), con pirita (py) diseminada y reemplazada por marcasita en bordes de ef. Todo el conjunto está en matriz de carbontos (cbs).

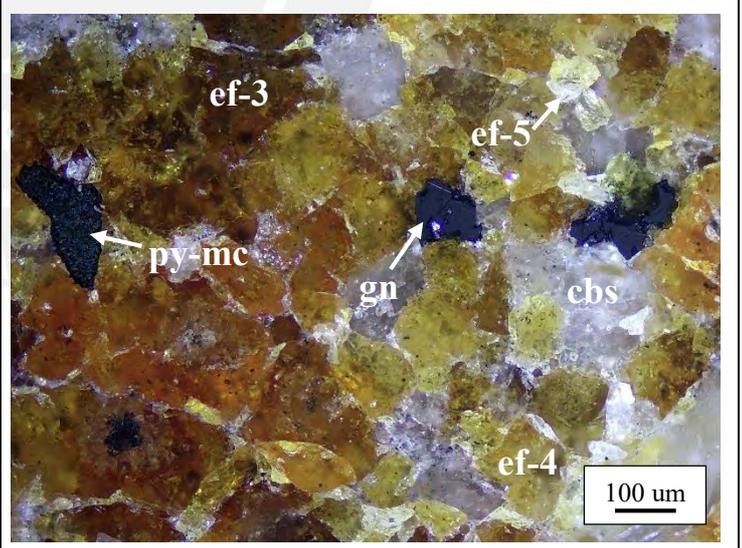
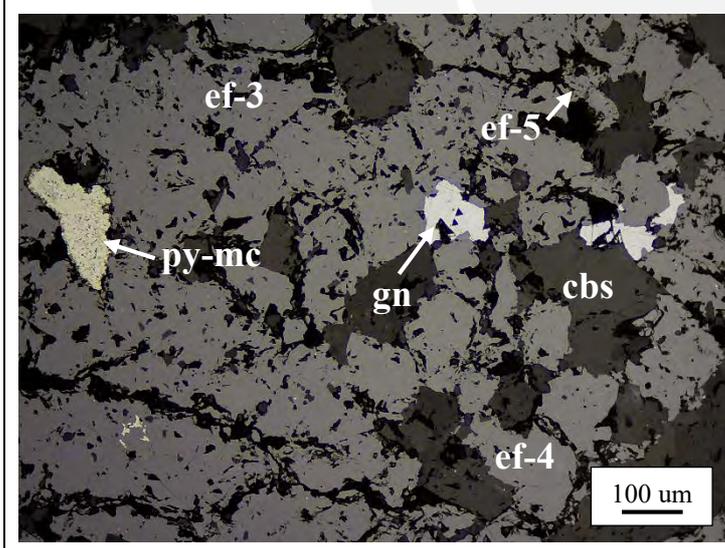
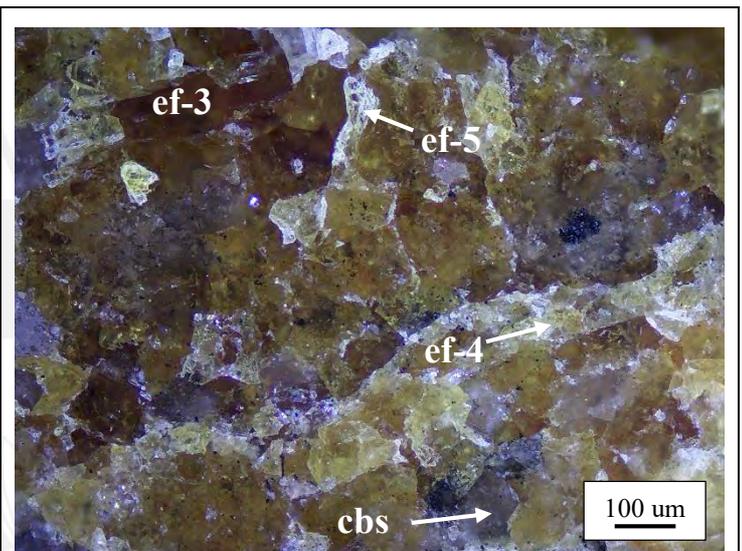
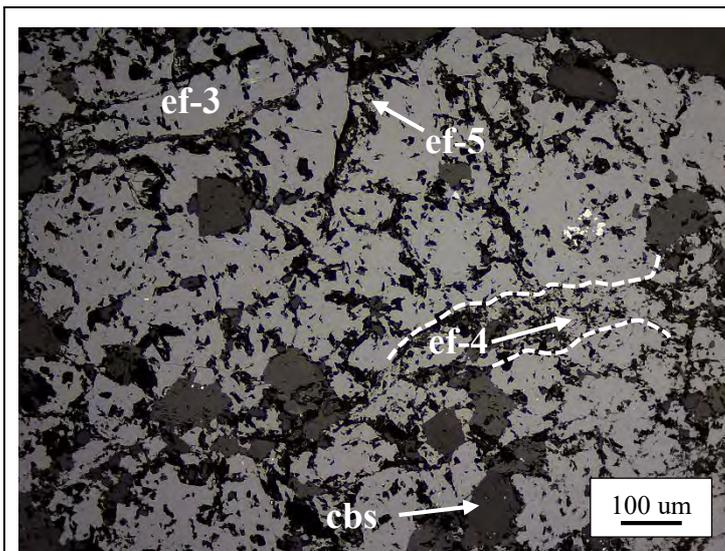


SH-31

Mineralogía: ef-3 + ef-4 + ef-5 + cbs ± py-mc ± gn

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 3 (ef-3; reflejos internos pardo rojizo) que ha sido reemplazada y cortada por agregados de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) y esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos). Cristales de pirita-marcasita (py-mc) y galena (gn) en oquedades e intersticios de esfalerita. Se observa reemplazamiento de esfalerita por carbonatos (cbs) a partir de los intersticios.

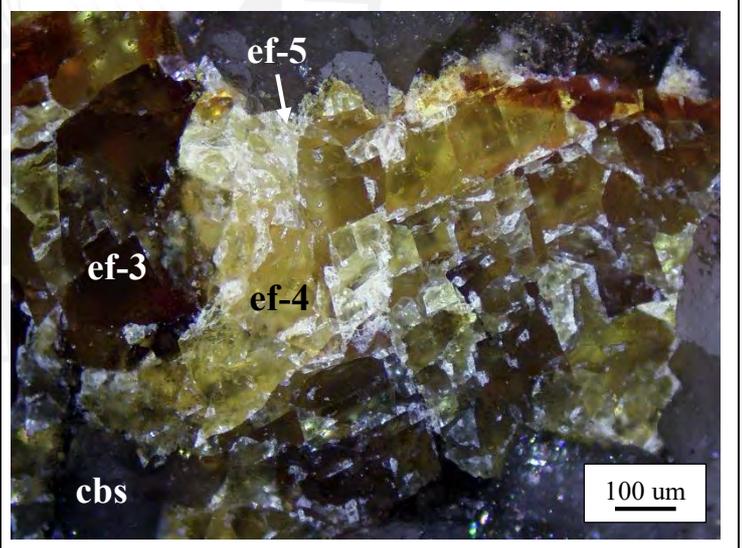
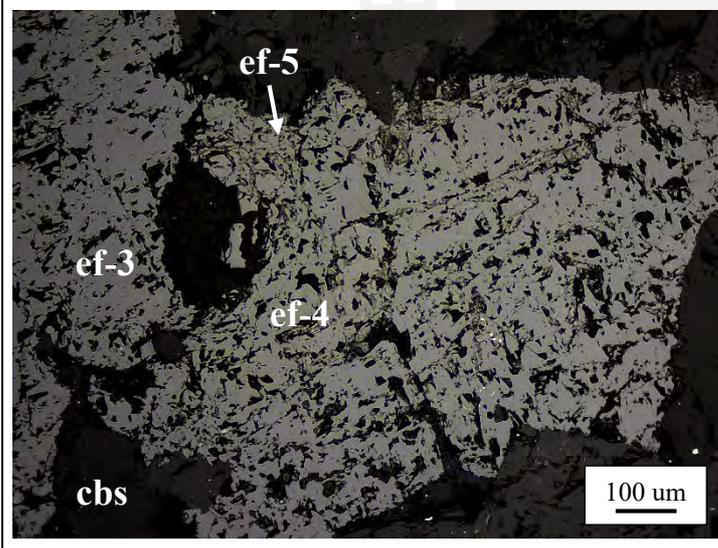
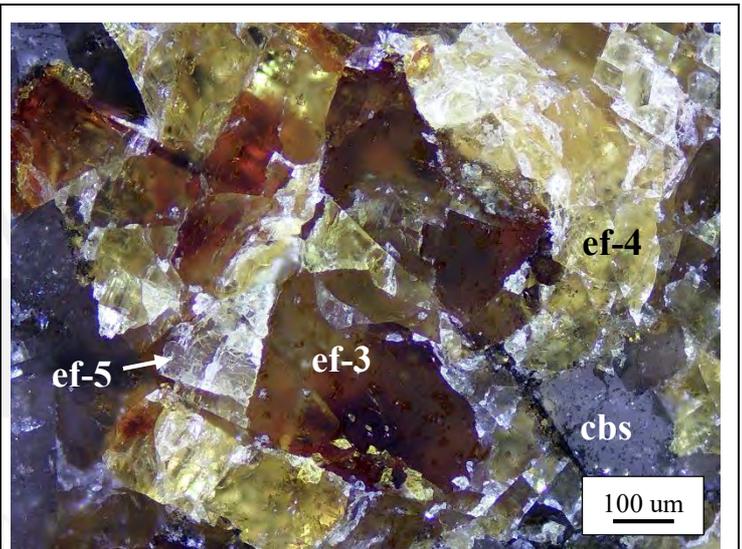
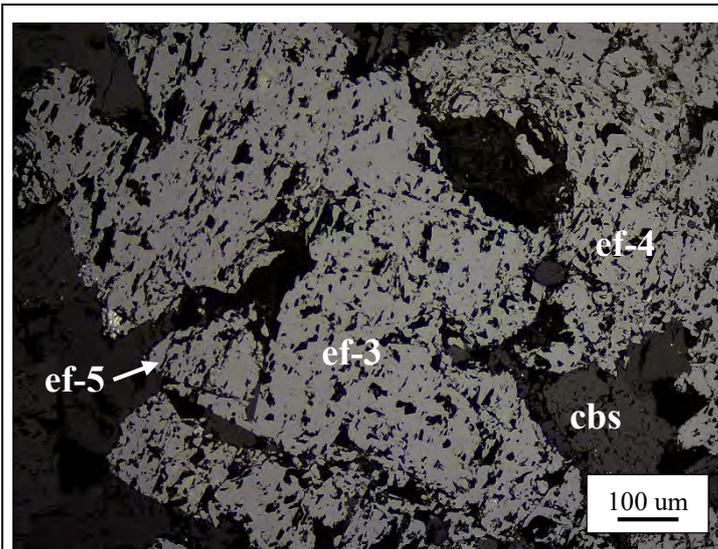


SH-59

Mineralogía: ef-3 + ef-4 + ef-5 + cbs

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 3 (ef-3; reflejos internos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por agregados de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) y esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos). Todo el conjunto se encuentra en matriz de carbonatos (cbs).

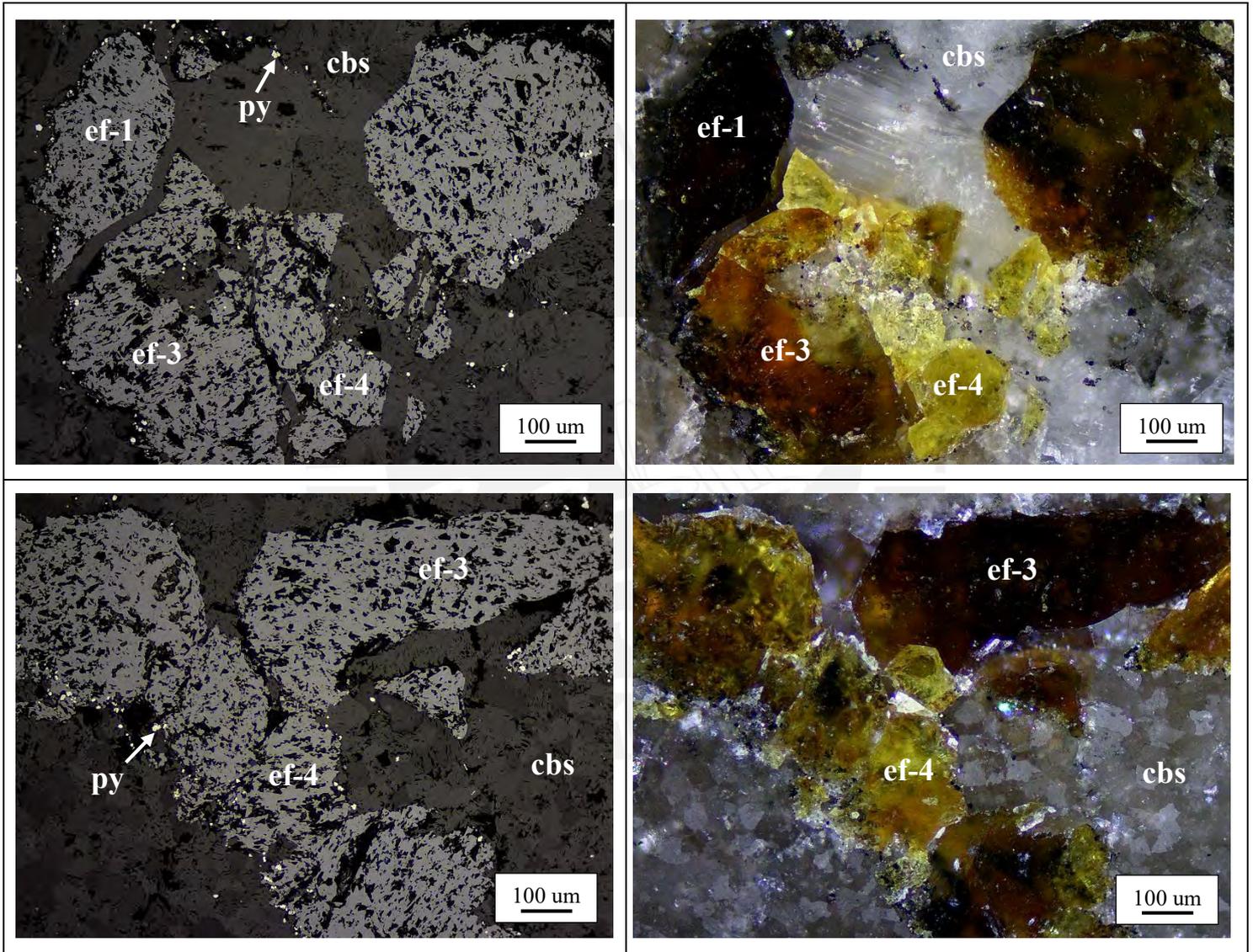


SH-84

Mineralogía: ef-1 + ef-3 + ef-4 + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef-1; color negro con ausencia de reflejos internos) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazados por agregados de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento). Se observa diseminación de pirita (py) y reemplazamiento de los agregados de esfalerita por carbonatos (cbs).

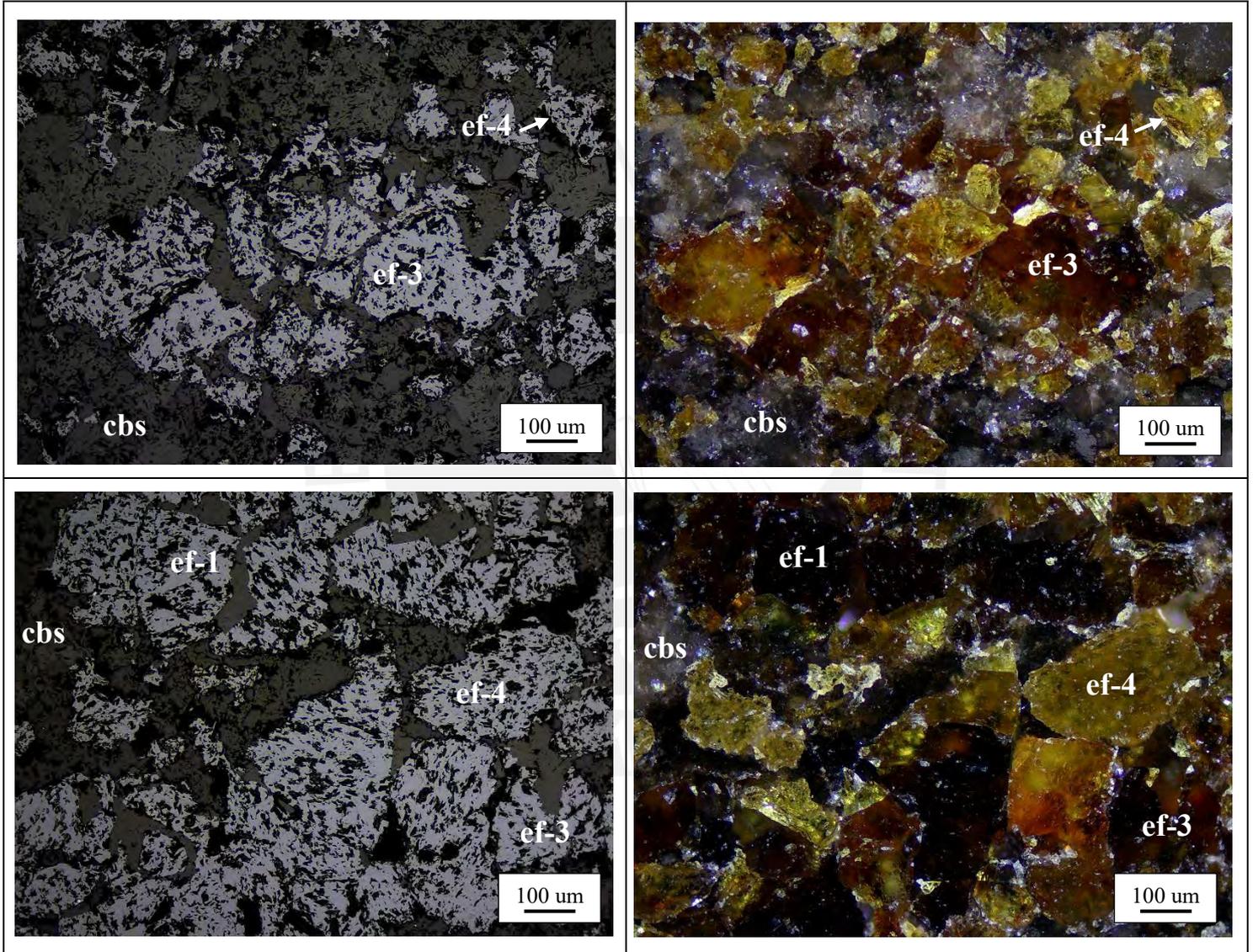


SH-104

Mineralogía: ef-1 + ef-3 + ef-4 + cbs

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef-1; color negro con ausencia de reflejos internos) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por agregados de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento). Se observa reemplazamiento de los agregados de esfalerita por carbonatos (cbs).

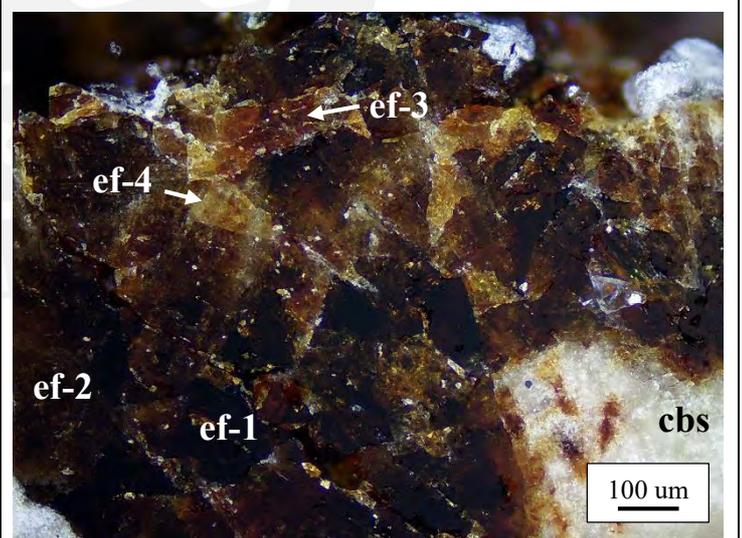
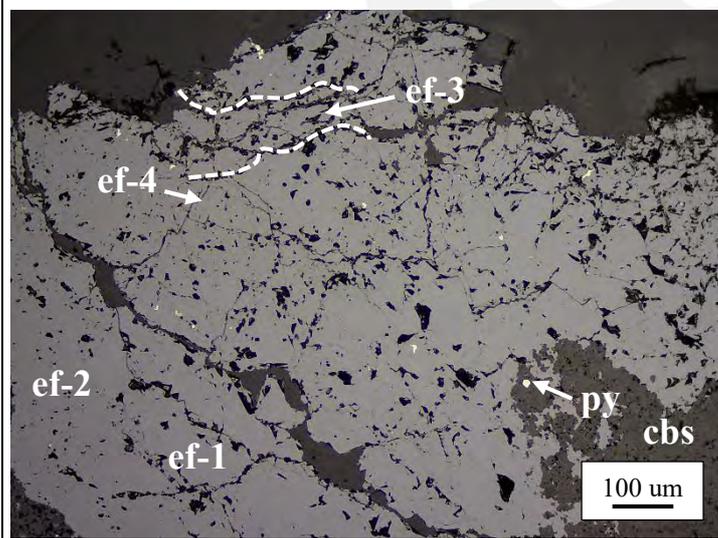
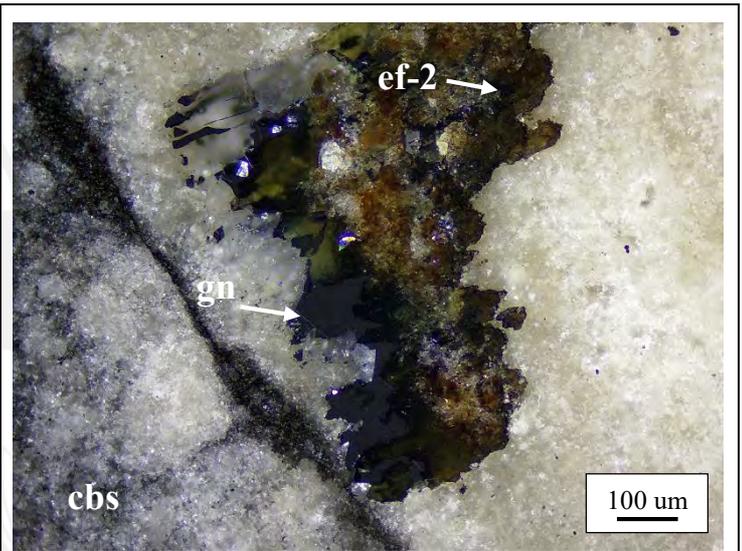
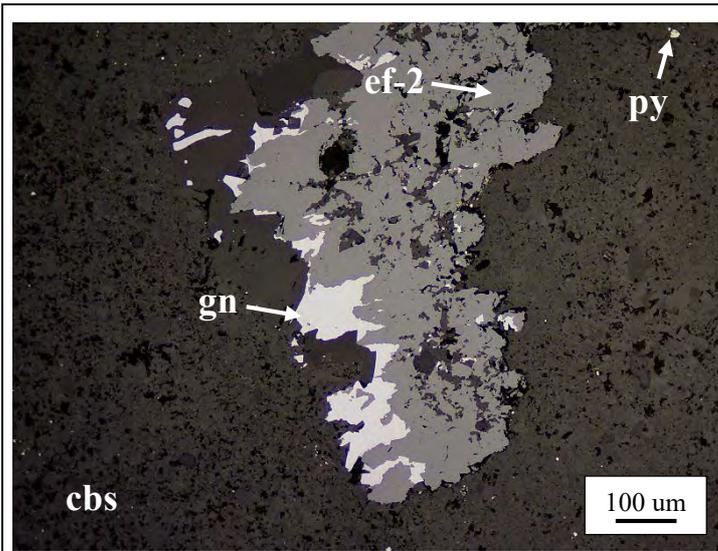


SH-120

Mineralogía: ef-1 + ef-2 + ef-3 + ef-4 + gn + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef-1; color negro con ausencia de reflejos internos) y esfalerita 2 (ef-2; reflejos marrón oscuro) que han sido reemplazadas y cortadas por agregados de esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) y esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento). Cristales de galena (gn) que han reemplazado a ef-2 y disseminaciones de pirita (py) en ef. Todo el conjunto se encuentra en matriz de carbonatos (cbs).

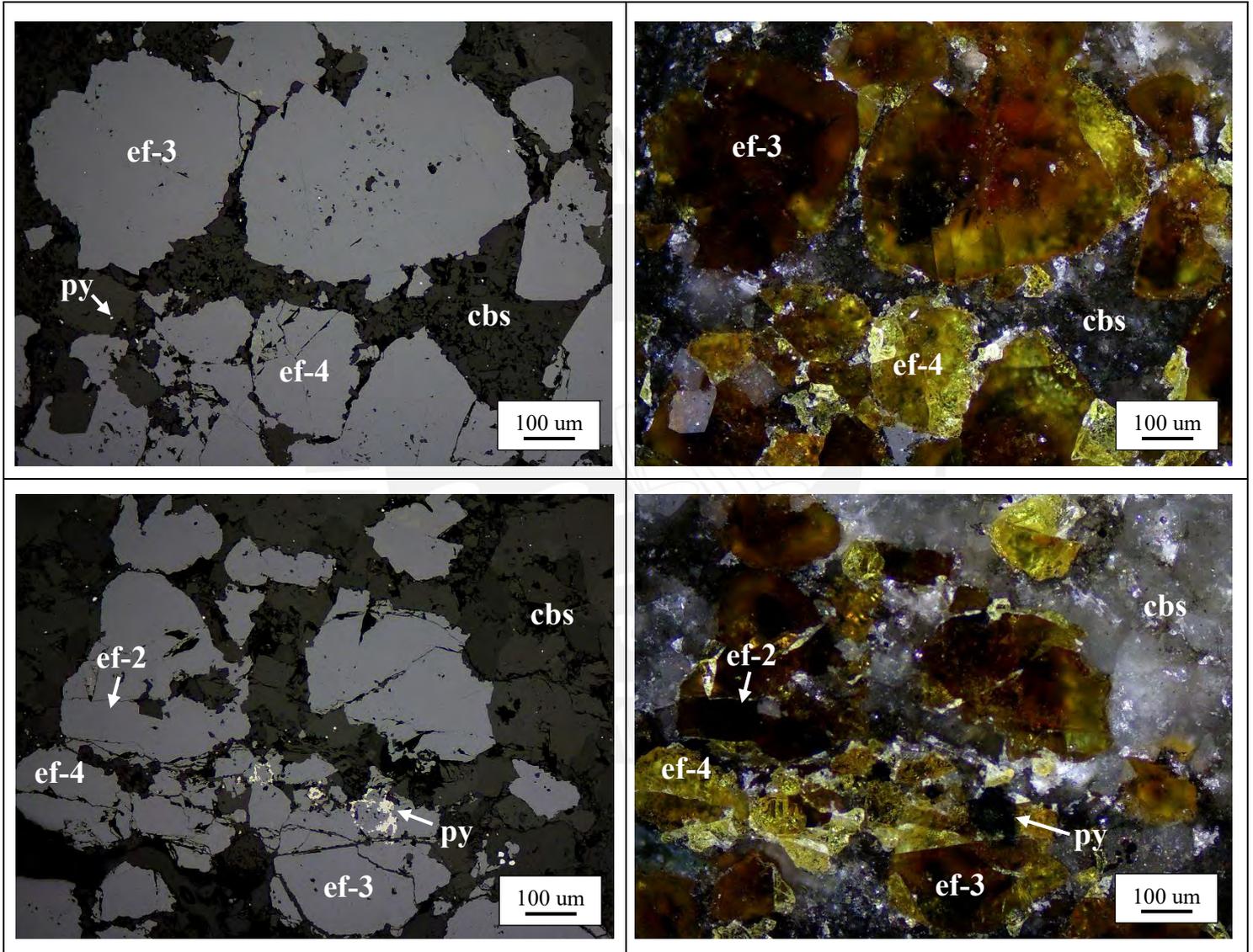


SH-157

Mineralogía: ef-2 + ef-3 + ef-4 + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef-2; reflejos internos marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por agregados de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) a partir de los intersticios. Se observa diseminación de pirita (py) y reemplazamiento de esfalerita por carbonatos (cbs).

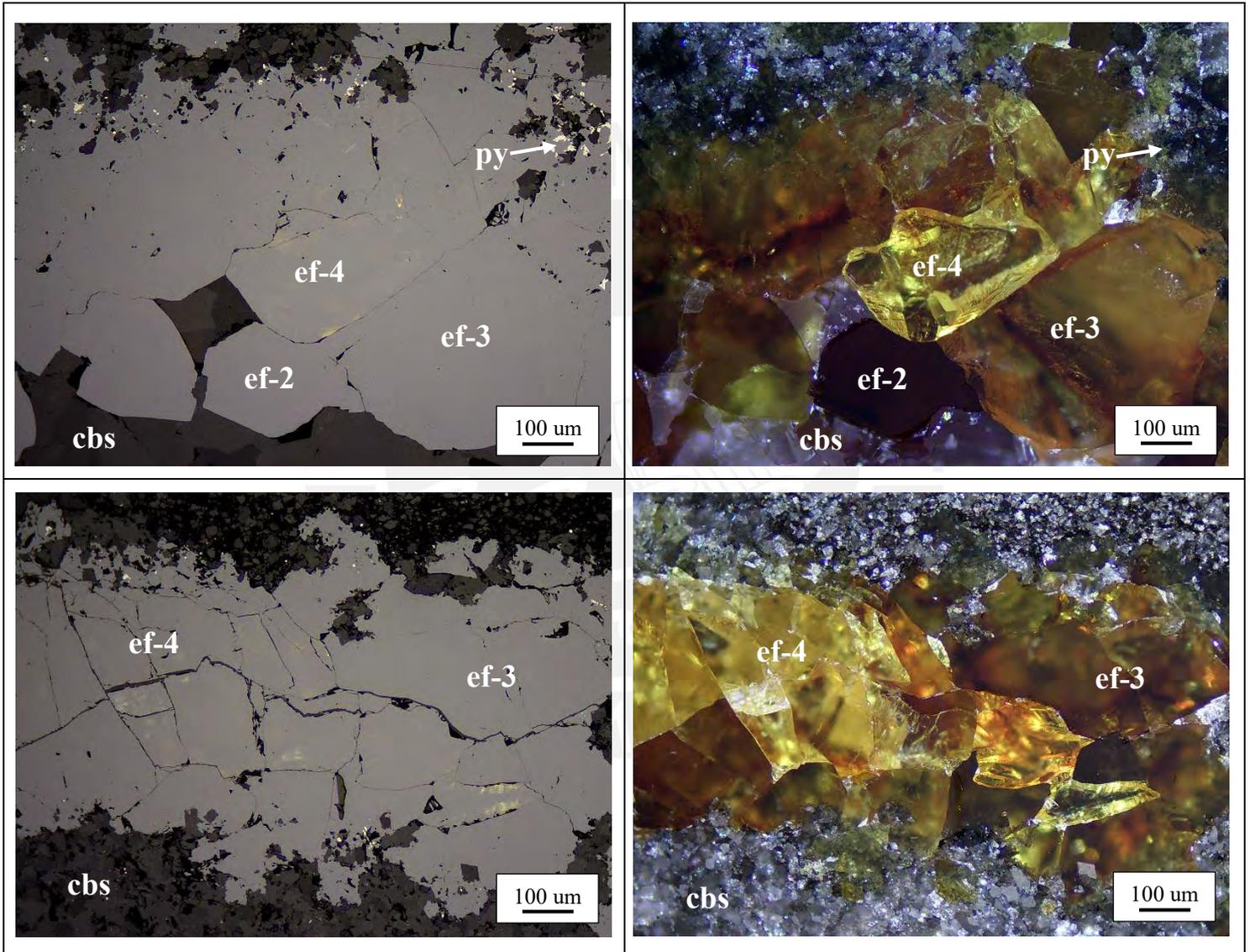


SH-167

Mineralogía: ef-2 + ef-3 + ef-4 + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef-2; reflejos internos marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por agregados de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento). Diseminaciones de pirita (py) en bordes y oquedades de esfalerita. Se observa reemplazamiento de agregados de esfalerita por carbonatos (cbs).

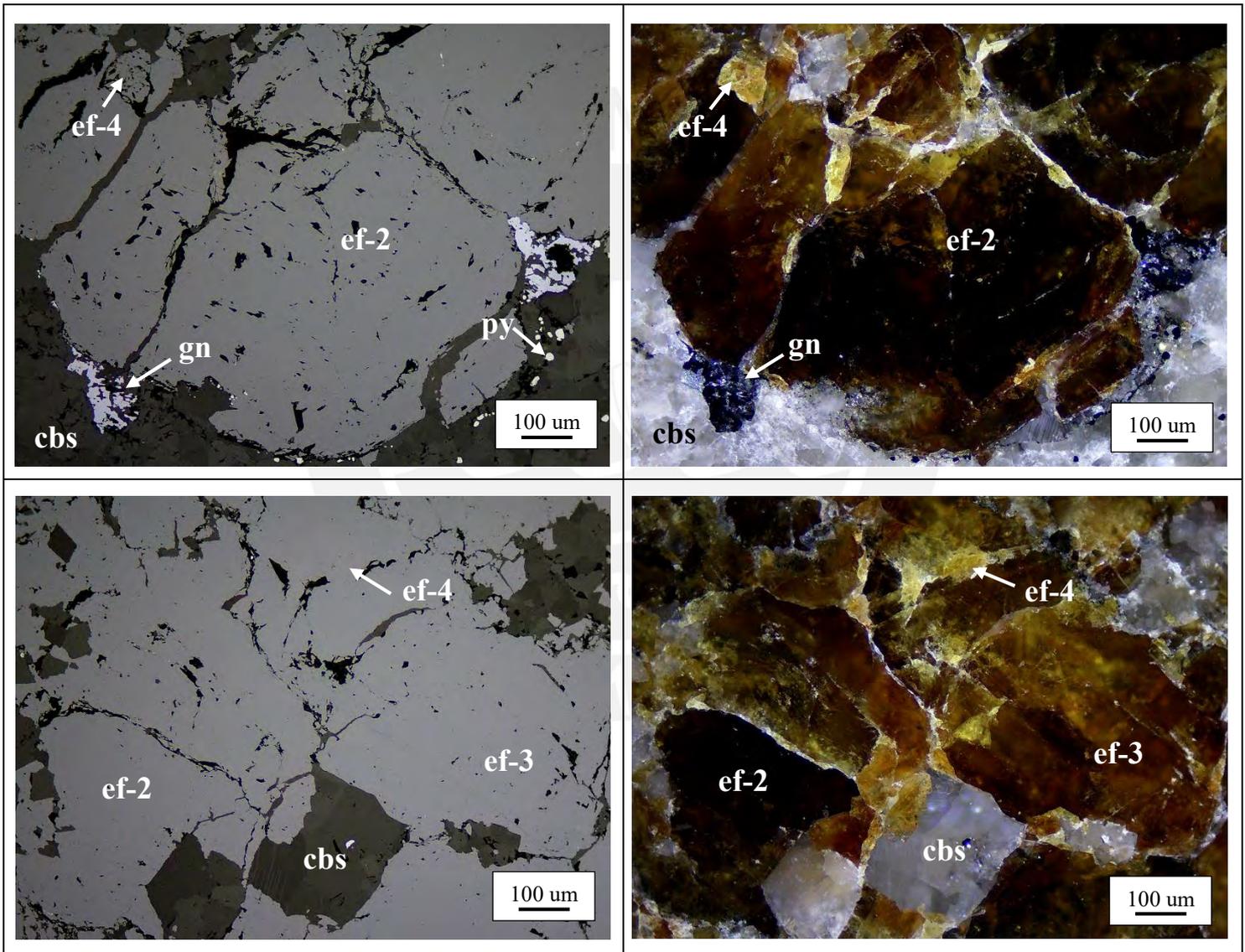


SH-187

Mineralogía: ef-2 + ef-3 + ef-4 + cbs ± gn ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef-2; reflejos marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) a partir de sus intersticios. Cristales anhedrales de galena (gn) que reemplazan esfalerita y disseminaciones de pirita (py). Todo el conjunto se encuentra reemplazado por carbonatos (cbs).

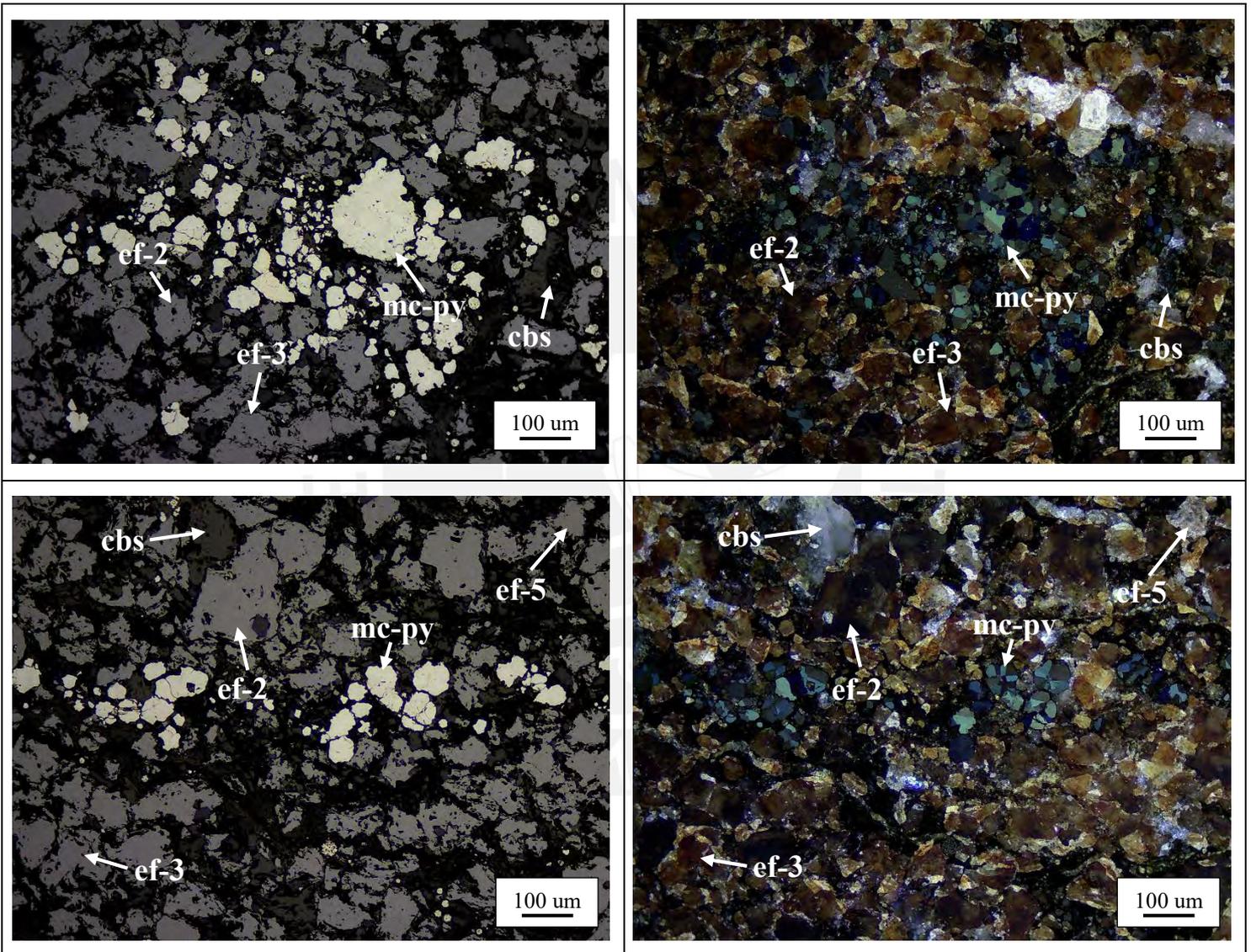


SH-191

Mineralogía: ef-2 + ef-3 + ef-5 + mc-py + cbs

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef-2; marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazados por esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos). Además, se observan cristales de pirita (py) reemplazados por marcasita (mc) y carbonatos (cbs).

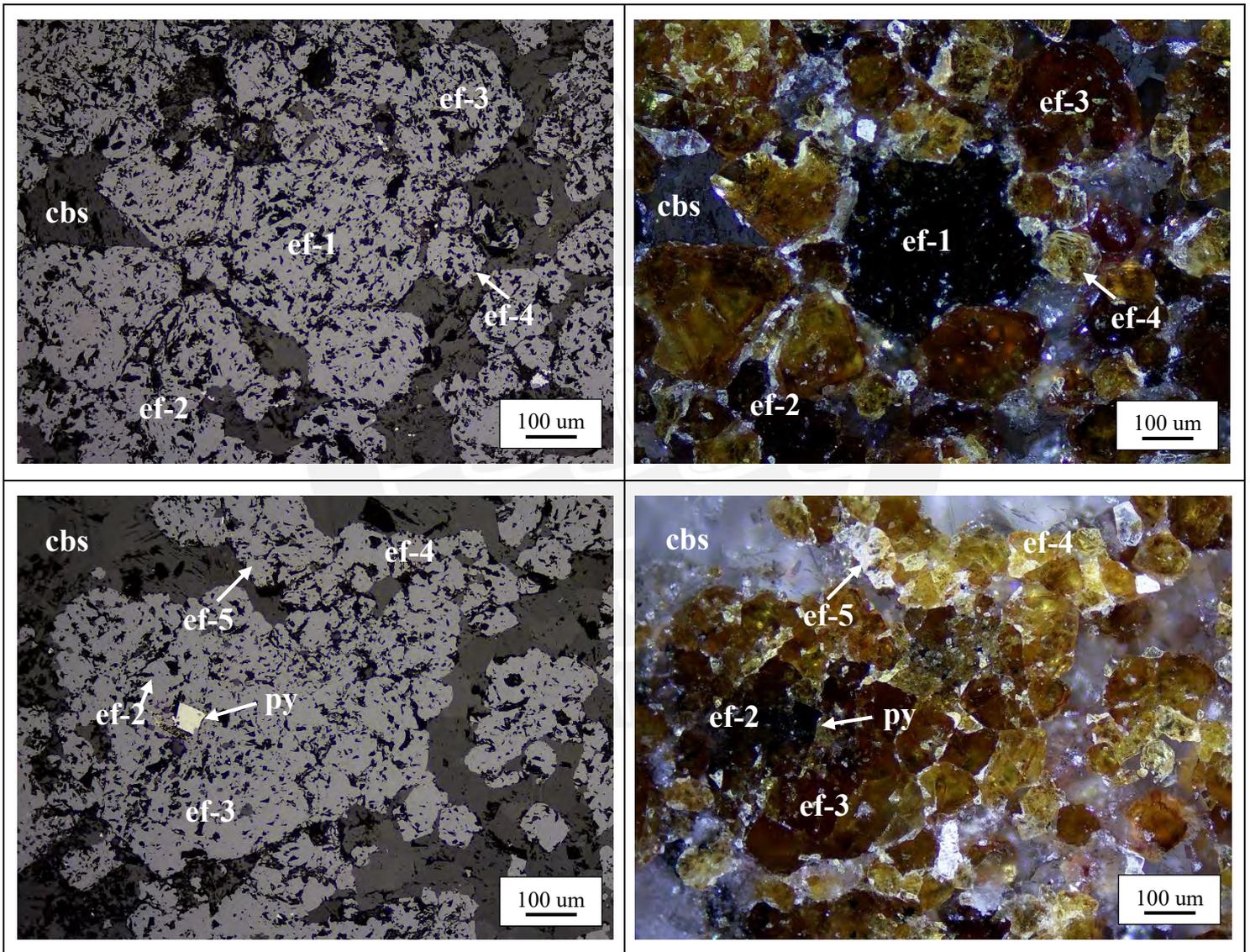


SH-192

Mineralogía: ef-1 + ef-2 + ef-3 + ef-4 + ef-5 + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef-1; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef-2; reflejos marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) y esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos), a partir de sus bordes e intersticios. Cristales anhedrales de pirita (py) en oquedades. Todo el conjunto se encuentra reemplazado por carbonatos (cbs).

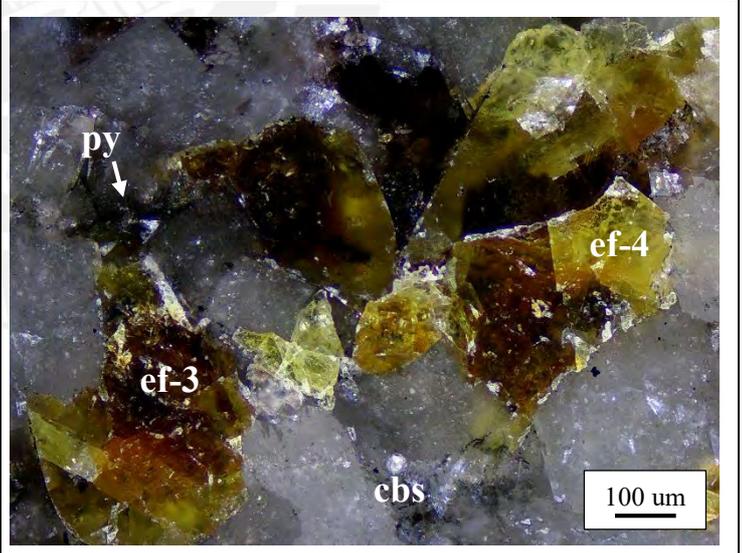
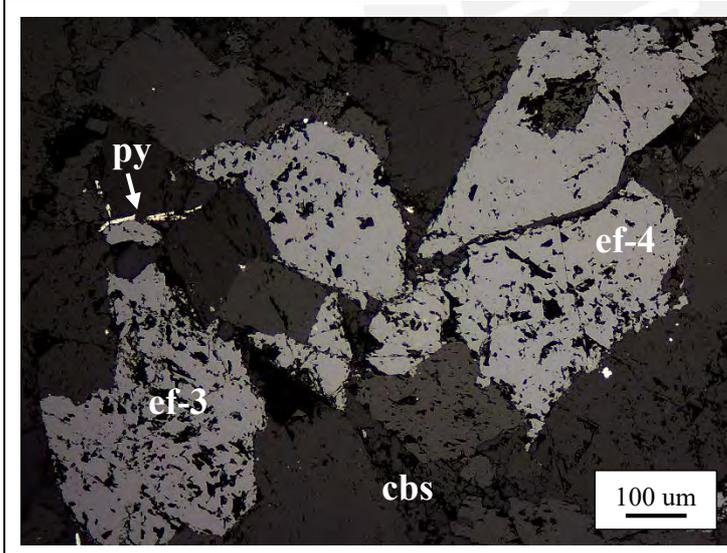
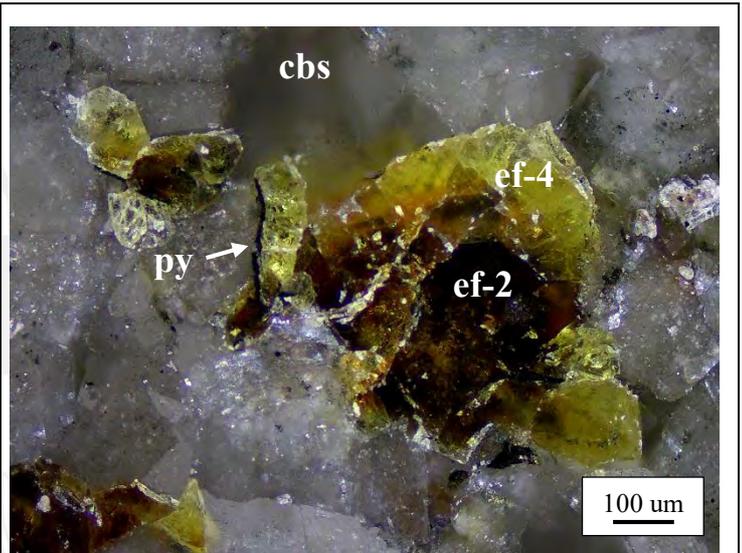
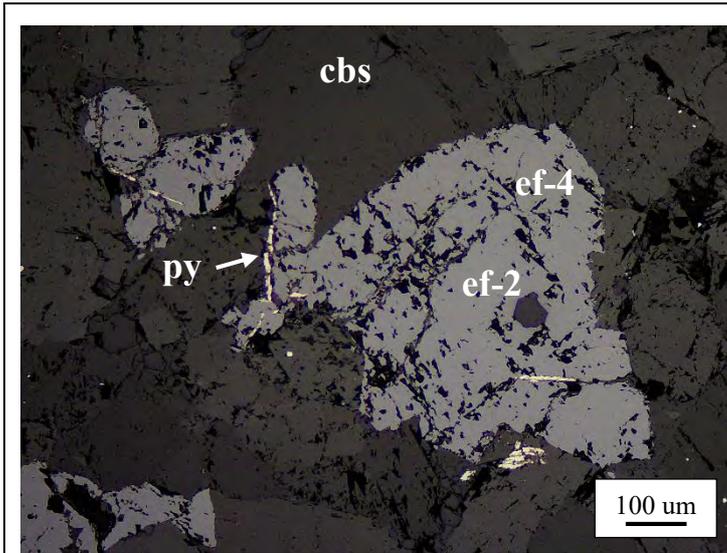


SH-212

Mineralogía: ef-2 + ef-3 + ef-4 + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef-2; reflejos marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) a partir de sus bordes e intersticios. Cristales anhedrales de pirita (py) en bordes de esfalerita. Todo el conjunto se encuentra en matriz de carbonatos (cbs).

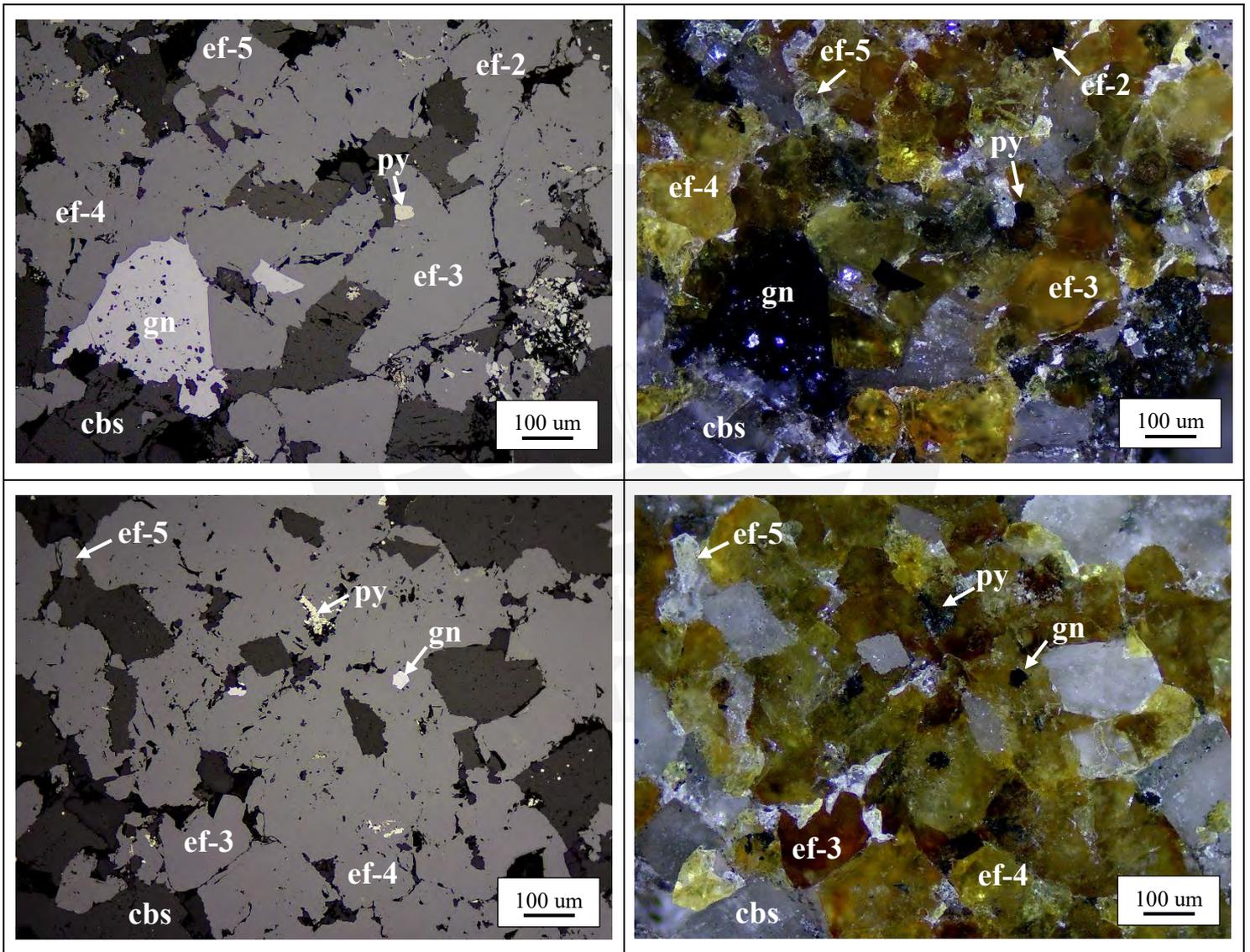


SH-227

Mineralogía: ef-2 + ef-3 + ef-4 + ef-5 + gn + cbs ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef-2; reflejos marrón oscuro) y esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) y esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos), a partir de sus bordes e intersticios. Cristales anhedrales de galena (gn) que reemplazan esfalerita y cristales de pirita (py) en oquedades y diseminados. Todo el conjunto se encuentra reemplazado por carbonatos (cbs).

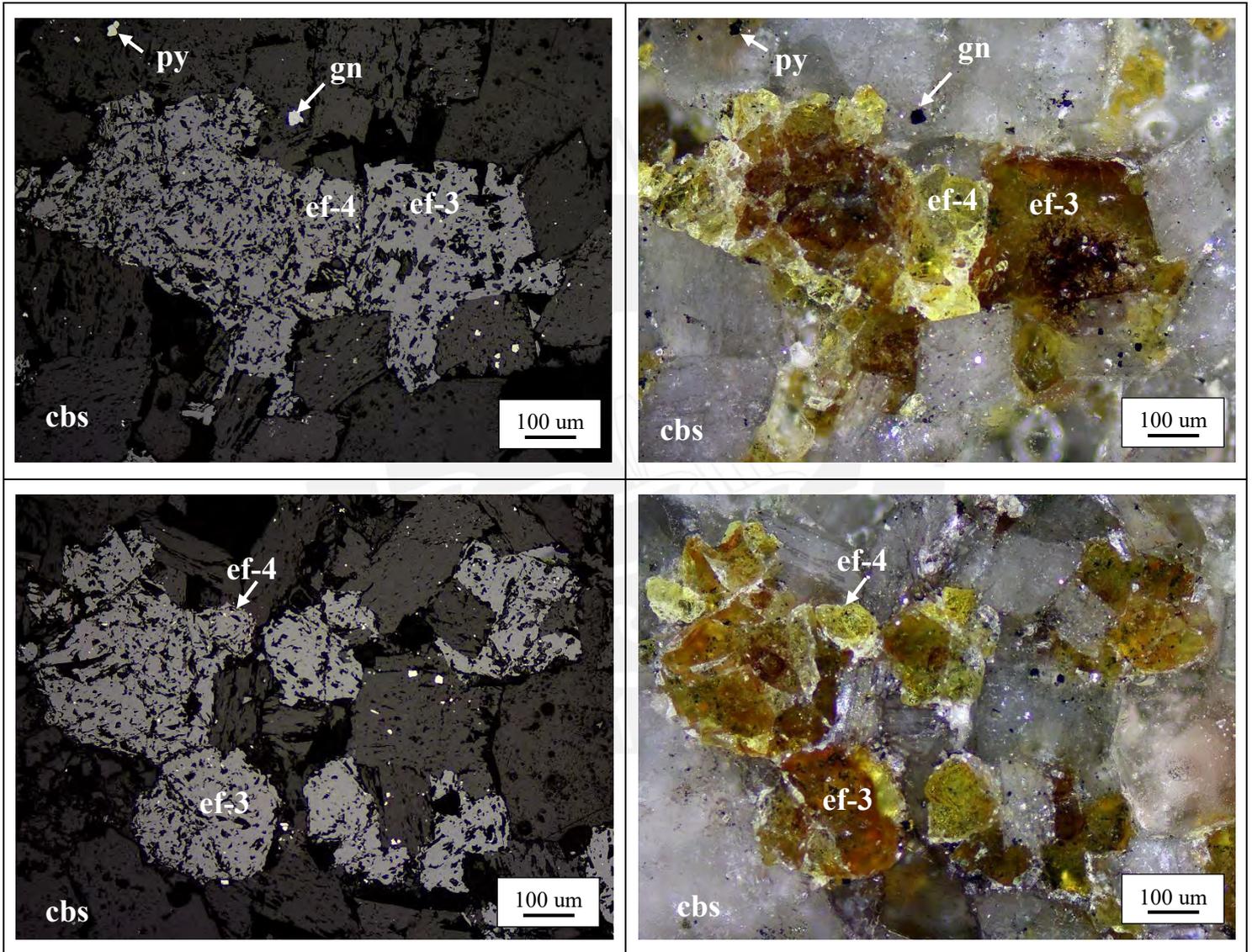


SH-231

Mineralogía: ef-3 + ef-4 + cbs ± gn ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento), a partir de sus intersticios. Cristales disseminados de galena (gn) y pirita (py). Todo el conjunto se encuentra reemplazado por carbonatos (cbs).

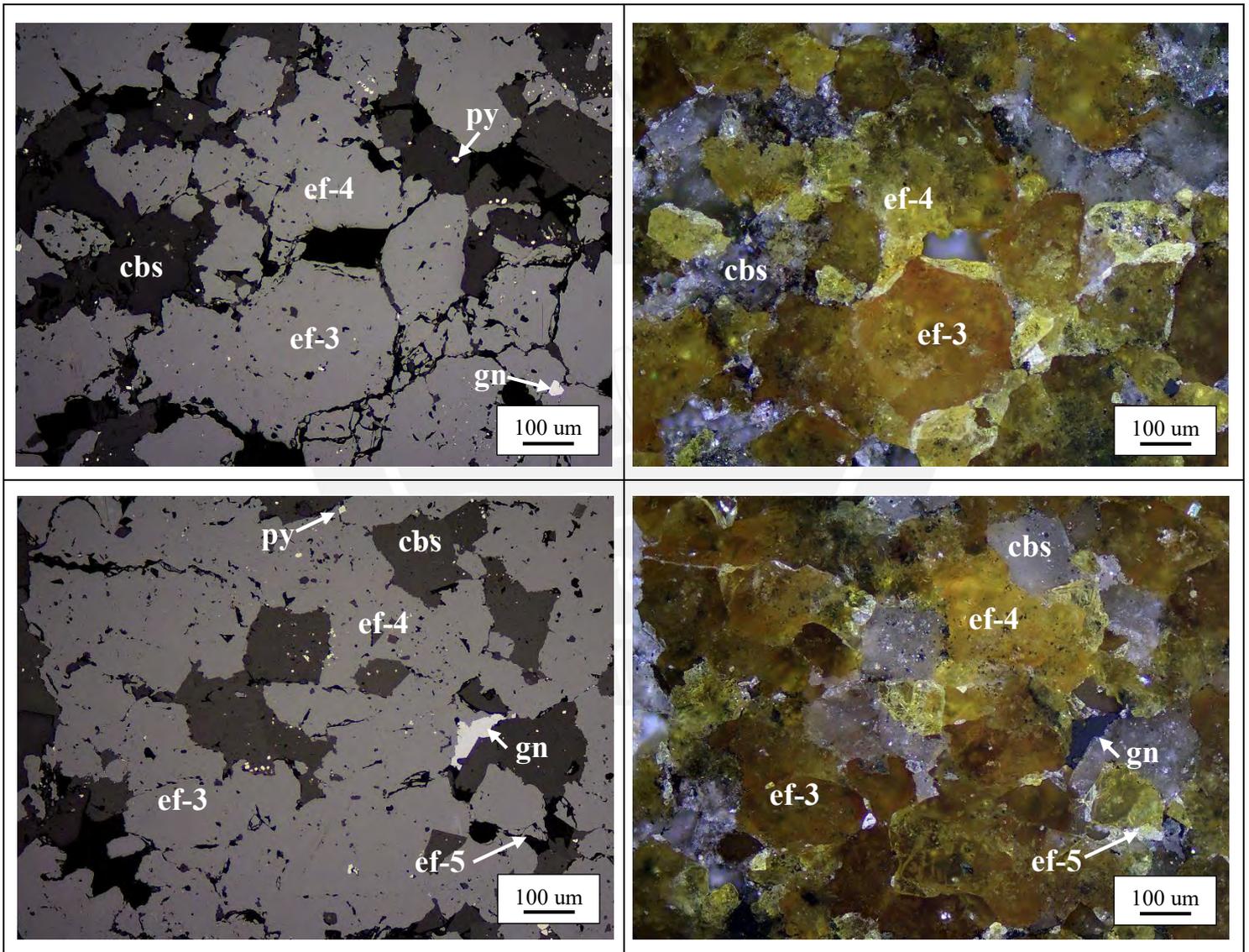


SH-233

Mineralogía: ef-3 + ef-4 + ef-5 + cbs ± gn ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 3 (ef-3; reflejos pardo rojizo) que han sido reemplazadas por esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) y esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos), a partir de sus bordes e intersticios. Cristales anhedrales de galena (gn) que reemplazan esfalerita y cristales diseminados de pirita (py). Todo el conjunto se encuentra reemplazado por carbonatos (cbs).



TP-1524437

Mineralogía: ef-4 + ef-5 + cbs

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 4 (ef-4; reflejos pardo amarillento) que han sido reemplazados por esfalerita 5 (ef-5; reflejos blancos), a partir de sus bordes. Todo el conjunto se encuentra reemplazado por carbonatos (cbs).

