

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



**TEXTURAS Y COMPOSICIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN
ESFALERITA DE MENA DE YACIMIENTOS TIPO MISSISSIPPI
VALLEY: YACIMIENTOS DE SAN VICENTE Y SHALIPAYCO, PERÚ**

Tesis para obtener del título profesional de Ingeniera Geóloga

AUTORA:

Andrea Julieta Millán Núñez

ASESOR:

Dr. Lisard Torró i Abat

Lima, abril, 2022

RESUMEN

El germanio (Ge) y el galio (Ga) son elementos estratégicos esenciales para la producción de tecnologías digitales y medioambientalmente sostenibles. Por este motivo, en los últimos años ha crecido su demanda, a la par que el interés por conocer sus concentraciones en diversas tipologías de yacimientos minerales.

En la presente investigación se llevó a cabo un análisis petrográfico de muestras de mena de los depósitos tipo Mississippi Valley (MVT) de San Vicente y Shalipayco con el objetivo de catalogar las diferentes generaciones y tipos texturales de esfalerita, que en yacimientos MVT es el principal mineral portador de estos dos elementos estratégicos. El estudio petrográfico sirvió de base para la contextualización paragenética de los análisis geoquímicos de elementos mayoritarios, minoritarios y traza utilizando microsonda electrónica y LA-ICP-MS.

Se identificaron 7 generaciones/tipos texturales de esfalerita en las muestras de San Vicente. Éstas se diferencian principalmente por su color en muestra de mano y el color de sus reflejos internos, así como por sus relaciones texturales con otras generaciones/tipos texturales de esfalerita y/u otros minerales presentes en las muestras estudiadas bajo el microscopio de luz reflejada.

Se encontraron concentraciones destacables de Ge (de hasta 1861 ppm) y Ga (de hasta 997 ppm). En San Vicente, las mayores concentraciones de Ge (rango intercuartil [RIC] = 1207-39 ppm) y Ga (RIC = 200-5 ppm) fueron encontradas en esfalerita de color naranja. En Shalipayco, las concentraciones más elevadas de Ge fueron encontradas en esfalerita marrón amarillenta (RIC = 510-56 ppm) y las de Ga, en esfalerita amarilla parduzca (RIC = 23.14-0.16 ppm). En ambos depósitos, la esfalerita más rica en Ge ocupa una posición intermedia a tardía en las respectivas secuencias paragenéticas. Teniendo en cuenta correlaciones entre proporciones molares de los elementos analizados se concluye que la incorporación de Ge y

Ga en la estructura cristalina de la esfalerita fue mediante sustituciones acopladas como $3\text{Zn}^{2+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+} + 2\text{Ag}^+$, $(\text{Cu} + \text{Ag})^{+1} + (\text{In} + \text{Ga})^{+3} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$ y $(\text{Cu} + \text{Ag})^{+1} + \text{Ga}^{+3} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$. Los resultados obtenidos refuerzan la idea de que los depósitos MVT son particularmente atractivos para la exploración de metales y metaloides estratégicos como Ga y Ge.

PALABRAS CLAVE

Materias primas críticas, elementos de alta tecnología, depósito MVT, esfalerita, reflejos internos, mecanismo de incorporación



NOTA DE AUTORA

Aunque oficialmente presentada en abril de 2022, esta tesis refleja el trabajo realizado hasta diciembre de 2020. Posteriormente, resultados de esta tesis se incluyeron en los resúmenes de congreso Millán-Núñez et al. (2021) y Benites et al. (2022). En éstos, la presentación de resultados e interpretación ha sido parcialmente modificada. La tabla que sigue indica las equivalencias entre la nomenclatura utilizada en esta tesis para los tipos de esfalerita y la usada en Millán-Núñez et al. (2021) y Benites et al. (2022).

Depósito	Nomenclatura Tesis	Nomenclatura posterior
San Vicente	ef_1 - SV	1bl
	ef_2 - SV	1rb
	ef_3 - SV	1yb
	ef_4 - SV	1y
	ef_5 - SV	2o
	ef_6 - SV	2y
	ef_7 - SV	2w
	dol_1	DRD
	dol_2	WSD ₁
	dol_3	WSD ₂
Shalipayco	ef_1 - SH*	bl
	ef_2 - SH	rb
	ef_3 - SH	yb
	ef_4 - SH	y
	ef_5 - SH*	w

(*) No aparecen en la presente tesis.

Millán-Núñez A, Benites D, Torró L, Vallance J, Rosas S, Fontboté L (2021) Esfalerita rica en germanio en el yacimiento MVT de San Vicente, Perú. Actas del Vigésimo Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú, Lima, 3pp.

Benites D, Millán-Núñez A, Torró L, Vallance J, Rosas S, Laurent O, Chelle-Michou C, González-Jiménez JM, Villanova-de-Benavent C, Proenza JA, Melgarejo JC, Fontboté L (2022) Germanium-rich sphalerite in two peruvian Mississippi Valley-Type deposits. Proceedings of the 16th SGA Biennial Meeting 2022, “The critical role of minerals in the carbon-neutral future”. Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Rotorura, 4 pp., *en prensa*.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios ...

Agradezco a mi familia: A mi mamá Filomena Núñez por ser siempre luz para mí, por acompañarme incondicionalmente y jamás dudar de mí. A mis hermanos Jessica, Velia, Enrique y Fredd, por ser un firme soporte en toda mi carrera universitaria, por escucharme siempre y levantarme la moral cuando he dudado de mi misma.

Agradezco a mi asesor de tesis, doctor Lisard Torró i Abat, por contribuir en mi crecimiento personal y académico, y por siempre animarme a seguir adelante sin conformarme. También, agradezco a mi profesor, doctor Diego Benites Negrón, por toda la ayuda brindada en la presente investigación. Así mismo, agradezco a la doctora Silvia Rosas y al doctor Lluís Fontboté por los valiosos comentarios que han ayudado a mejorar la calidad de la presente tesis.

Agradezco a mi compañero y mejor amigo Gabriel Tasayco por ayudarme siempre y por nunca dejar que me rinda. De igual forma, a mi amigo Johann Culqui por su amistad y por haber sido un buen colega en toda la carrera. Finalmente, agradezco a mis amigos del CAPU PUCP, por ser un soporte incondicional y por ayudarme a no descuidar aspectos morales y espirituales que complementan mi formación integral.

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].

ÍNDICE

1.	Introducción	1
1.1.	Generalidades de los yacimientos tipo MVT	1
1.2.	Antecedentes en el estudio de yacimientos tipo MVT en Perú.....	5
1.3.	Elementos de alta tecnología en yacimientos tipo MVT.....	10
1.4.	Problemática.....	13
1.5.	Objetivos del trabajo	13
1.6.	Hipótesis.....	14
1.7.	Justificación.....	14
2.	Muestreo y técnicas analíticas	16
2.1.	Muestreo y preparación de las muestras	16
2.2.	Técnicas analíticas.....	16
2.2.1.	Microscopio petrográfico.....	16
2.2.2.	EPMA	16
2.2.3.	Ablación laser ICP-MS	17
3.	Situación geográfica y geológica	19
3.1.	Situación geográfica.....	19
3.1.1.	Yacimiento de Shalipayco	19
3.1.2.	Yacimiento de San Vicente.....	19
3.2.	Situación geológica	21
3.2.1.	Geología regional del cinturón de yacimientos MVT de Perú	21
3.2.2.	Geología del yacimiento de Shalipayco.....	26
3.2.3.	Geología del yacimiento de San Vicente.....	28
4.	Resultados	31
4.1.	Mineralogía y texturas del yacimiento de San Vicente.....	31
4.2.	Geoquímica de la esfalerita.....	37
4.2.1.	Resultados de EPMA.....	38
4.2.2.	Resultados de LA-ICP-MS.....	39
5.	Discusión.....	46
5.1.	Enriquecimiento de Ge y Ga en esfalerita.....	46
5.2.	Control composicional en el color de la esfalerita	49
5.3.	Temperatura de formación de la esfalerita	52
5.4.	Recomendaciones para la exploración de Ga y Ge en yacimientos MVT	53
6.	Conclusiones	55
7.	Bibliografía	57
	Anexos	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Ubicación de los principales yacimientos MVT en el Perú. Mapa con unidades morfoestructurales modificado de Basuki et al. (2008). Topografía tomada de JPL-NASA©.	5
Figura 2: Ubicación de los yacimientos Shalipayco y San Vicente, accesibilidad y puntos de referencia. Mapa base tomado de Google Earth.	20
Figura 3: Ubicación de los yacimientos MVT del Perú sobre las rocas carbonatadas aflorantes del Grupo Pucará. Modificado de Dávila et al. (2000).	25
Figura 4: Sobreescorrimiento de Utcuyacu de la granodiorita Tarma y el basamento metamórfico sobre las rocas calcáreas del Grupo Pucará. Modificado de Badoux et al. (2001).	26
Figura 5: Mapa geológico del depósito Shalipayco. Modificado de Altman et al. (2017).	27
Figura 6: Mapa geológico del depósito San Vicente. Fm.: Formación, WSD: White sparry dolomite, Gd.: Granodiorita, Gr.: Granito. Modificado de Dávila et al. (2000).	30
Figura 7: Fotografías de muestras de mano con mineralización de esfalerita en el depósito de San Vicente. A) Roca con textura tipo “cebra”, conformada por bandas de esfalerita 1, 2 y 3. Las bandas de color blanco grisáceo corresponden a dolomita 2, las cuales cortan ocasionalmente y dislocan a las bandas de esfalerita (muestra 2019-SV-02). B) Crecimiento coliforme con bandas de esfalerita (esfalerita 1, 2 y 3) y relleno central de dolomita 2, esta última también corta localmente las bandas de esfalerita en forma de venillas sub-milimétricas (muestra 2019-SV-04). C) Brecha con bandeo coliforme de dolomita 1 y esfalerita 1, 2 y 3, cementada por una matriz de dolomita 2. Finas venillas de dolomita 2 cortan los clastos; nótese el crecimiento de galena perpendicularmente al sustrato de esfalerita 2 indicando dirección de crecimiento hacia el centro de un espacio abierto relleno por dolomita 2 (muestra 2019-SV-11). D) Relleno coliforme irregular de dolomita 1 y 2, agregados de esfalerita 2 y 3, y galena; la rotación de las bandas y su interrupción lateral brusca por dolomita 2 indican posible brechificación durante su cristalización (muestra 2019-SV-12). E) Agregados de esfalerita 2 y 3 sobrecrecidos por esfalerita 5, que ocupa espacio intersticial junto con galena y dolomita 3 (muestra 2019-SV-15). F) Reemplazamiento de clastos de dolomita 1 en brecha pre-mineralización por esfalerita 5-6, con cemento de dolomita 3 (muestra 2019-SV-13). G) Clastos de dolomita 1 reemplazados por esfalerita 6-7 (muestra 2019-SV-14). H) Brecha con clastos que muestran bandeo interno coliforme incluyendo esfalerita 2 sobrecrecida por esfalerita 3, esfalerita 4 y galena cementados por dolomita 2; vetillas de galena cortan, a su vez, el relleno de dolomita 2 (muestra 2019-SV-01). I) Brecha con clastos compuestos por crecimientos bandeados coliformes de esfalerita 2 y 3 sobrecrecidos por esfalerita 4 con texturas “snow-on-the-roof”; los clastos están rotados y cementados por dolomita 2 (muestra 2019-SV-03). J) Brecha con clastos de dolomita 1 parcialmente reemplazados por pirita-marcasita. Estos clastos están cementados por dolomita 2 que también contiene galena con crecimientos dendríticos y secciones de cristales cúbicos (muestra 2019-SV-10). K) Entramado de finas venillas de esfalerita 7 (color plateado muy claro) y dolomita 2 cortando esfalerita 1 y dolomita 1; nótese que las vetillas de esfalerita 7 cortan todo el ensamble (muestra 2019-SV-05). Abreviaturas: cbs: carbonatos; ef: esfalerita; gn: galena; py: pirita.	35

Figura 8: 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 detalles texturales de la mineralización del depósito de San Vicente. A-B) Agregados de cristales anhedrales de esfalerita 1 en matriz de dolomita 2, que han sido reemplazados por esfalerita 7, dolomita 3 y calcita. Además, se observa pirita 1 diseminada por todo el conjunto y pirita 3 en bordes, oquedades y fracturas. C-D) Agregado de cristales de esfalerita 1 y esfalerita 2 reemplazados por esfalerita 3 y esfalerita 4. El conjunto ha sido reemplazado por dolomita 3 y calcita a partir de bordes e intersticios. Pirita 1 diseminada en todo el conjunto y pirita 3 rellenando oquedades. E-F) Detalle de agregado de esfalerita 2 y esfalerita 3 reemplazado por esfalerita 4 y galena. El conjunto ha sido reemplazado y sobrecrecido por dolomita 3. Pirita 1 diseminada por todo el conjunto. G-H) Agregados de esfalerita 5 sobrecrecido por esfalerita 6, y dolomita 3 como relleno de espacios abiertos. I-J) Cristales de esfalerita 6, con microfracturas y porosidades rellenas por galena, y cortados por venillas de dolomita 3, que también aparece como crecimiento epitaxial sobre esfalerita 6. K-L) Agregados de cristales subhedrales y anhedrales de esfalerita 5 sobrecrecidos por esfalerita 6, y ambas sobrecrecidas por esfalerita 7. Abreviaturas: cbs: carbonatos; ef: esfalerita; gn: galena; mc: marcasita; py: pirita; LR: fotos tomadas con luz reflejada.36

Figura 9: Secuencia paragenética de las muestras estudiadas del depósito San Vicente. 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.37

Figura 10: Diagrama binario de correlación Fe:Zn en átomos por fórmula unidad (a.p.f.u.) de los 7 tipos de esfalerita identificados en el depósito de San Vicente.....38

Figura 11: Box plots de elementos analizados por LA-ICP-MS en los 7 tipos/generaciones de esfalerita del depósito San Vicente y en 3 de los 5 tipos/generaciones de esfalerita del depósito Shalipayco.41

Figura 12: Gráficos de correlación binaria entre Ge (A-E) y Ga (F-H), y diversos elementos presentes en esfalerita de los depósitos San Vicente y Shalipayco.48

Figura 13: Gráficos de correlaciones multielementales de esfalerita de los depósitos San Vicente y Shalipayco.49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Líneas espectrales y estándares usados para la medición y calibración de cada elemento.....	17
Tabla 2: Número de análisis realizados en las diversas generaciones/tipos texturales de esfalerita identificados en las muestras de San Vicente y Shalipayco.....	37
Tabla 3: Tabla resumen con los datos estadísticos de los análisis realizados mediante EPMA (en wt.%) y LA-ICP-MS (en ppm) en esfalerita de los depósitos San Vicente y Shalipayco.	44
Tabla 4: Temperatura promedio de formación de cada tipo textural de esfalerita analizado en San Vicente y Shalipayco calculada a partir del geotermómetro GGIMFis propuesto por Frenzel et al. (2016). Se presenta también la cantidad de muestras analizadas por cada tipo/generación de esfalerita, el error absoluto y los sigmas 1 y 2. Para el cálculo, los valores que están por debajo del límite de detección han sido substituidos por el valor del límite de detección de cada análisis.	53



1. Introducción

1.1. Generalidades de los yacimientos tipo MVT

Los yacimientos de tipo Mississippi Valley (MVT) deben su nombre a que varios distritos mineros de este tipo se encuentran en la cuenca del drenaje del río Mississippi en el centro de E.E.U.U. (Leach et al. 2005). Los productos básicos extraídos de los yacimientos MVT son el zinc (Zn) y el plomo (Pb), aunque pueden incluir plata (Ag), cobre (Cu) o cantidades traza de otros elementos como germanio (Ge), entre 100-1000 ppm según Melcher y Buchholz (2014). Estos depósitos representan el 24% de los recursos mundiales de Pb y Zn en depósitos alojados en rocas sedimentarias y volcánicas (Leach et al. 2010). En general, forman distritos extensos y, para depósitos individuales, las medianas de los parámetros son de 7.0 Mt de mineral con leyes de 1.9% de Pb, 6.0% de Zn, 0.23% de Cu y 32.5 g/t de Ag (Leach et al. 2005). Los distritos MVT comparten atributos mineralógicos y controles minerales similares que se describen a continuación.

Los depósitos de tipo MVT son epigenéticos, ya que se han emplazado después de la litificación de la roca huésped. Esto se puede observar en la mena, que se encuentra rellenando espacios abiertos entre fragmentos de brechas y/o reemplazando fragmentos o niveles permeables de la roca hospedante (Alldrick y Sangster 1995). Las rocas carbonatadas que alojan cuerpos minerales MVT se encuentran en secuencias de plataforma, particularmente en el flanco de las cuencas, asociadas a estribaciones orogénicas o sobreescurrecimientos dentro de las secuencias de márgenes pasivos dominados por rocas clásticas. Estos yacimientos no muestran relación espacial, temporal o genética con rocas ígneas, lo que los distingue de los skarn u otros yacimientos de Pb-Zn (Leach et al. 2005). La edad de la mayoría de los depósitos MVT coincide ampliamente con la de los principales eventos de contracción en el Fanerozoico, como el ensamblaje de Pangea desde el Devónico al Pérmico y la asimilación de microplacas

a lo largo del margen occidental de América del Norte y África-Eurasia desde el Cretácico hasta el Terciario (Leach et al. 2010).

La roca huésped más común en yacimientos MVT es la dolomía, aunque también se pueden encontrar en calizas y areniscas. Los yacimientos alojados en dolomías son generalmente más extensos y contienen leyes de mena más altas, lo que Leach et al. (2010) correlacionan con la mayor porosidad de estas rocas con respecto a las calizas. Sin embargo, la mayoría de las dolomías en los distritos MVT tienen una historia compleja que puede incluir eventos de dolomitización previos, sincrónicos y posteriores al evento de mineralización (Leach et al. 2005).

La geometría de los depósitos MVT es altamente irregular. Puede ser de naturaleza estratiforme en forma de cuerpos de reemplazamiento planos, trenzados o lineales, o discordantes como en brechas de colapso (Alldrick y Sangster 1995). Los procesos de cristalización en sistemas MVT implican un vínculo complejo entre la precipitación de sulfuros, la disolución y reemplazamiento de la roca huésped y el relleno de espacios abiertos. La precipitación de sulfuros es casi siempre un proceso generador de fluidos ácidos por reacciones del tipo $Me^+ + H_2S \rightarrow MS + 2H^+$. Texturas características en estos yacimientos incluyen bandeado mineral/textural, coloforme – botroidal (a.k.a. “*schalenblende*”), dendrítica, de reemplazamiento (que pueden dar lugar a mineralizaciones masivas de sulfuros), brechas de colapso, “*snow on roof*” (sulfuros que recubren preferentemente la parte superior de cristales o clastos de brecha en espacios abiertos), pseudobrechas (por reemplazo selectivo de la roca huésped) y de tipo cebra (Leach et al. 2005).

Los principales minerales de mena en estos yacimientos son esfalerita, galena, barita, fluorita y, en menor abundancia, sulfuros y sulfosales de Cu, Co, Ni, Fe, Ag y Sb. Los principales minerales de ganga son dolomita, calcita, pirita, cuarzo y yeso (Alldrick y Sangster

1995; Leach et al. 2010). Adicionalmente, la mineralogía de alteración generalmente consiste en carbonatos hidrotermales como reemplazamiento de los carbonatos hospedantes y/o como cemento en la porosidad intergranular y el relleno de espacios abiertos, y en menor medida minerales producto de silicificación o diagénesis de arcillas (Leach et al. 2005).

Los fluidos encargados de transportar los metales en los sistemas MVT son salmueras de cuenca con salinidades entre 10 y 30 % en peso (wt. %) de NaCl equivalente y temperaturas entre 50 y 250 °C (Leach et al. 2005). Los complejos clorurados favorecen la solubilidad y transporte de metales base (Leach et al. 2010). Otros factores importantes que controlan esta solubilidad son la temperatura, el pH y la actividad de azufre reducido. Valores de isótopos de azufre en sulfuros de yacimientos MVT en todo el mundo son consistentes con azufre derivado de una variedad de fuentes de la corteza que pueden incluir evaporitas, agua de mar connata, sulfuros diagenéticos, material orgánico que contiene azufre, entre otros (Leach et al. 2005). Mecanismos geoquímicos para el transporte y la cristalización de la mineralización incluyen i) transporte de los metales base en fluidos con un bajo contenido de azufre y su precipitación por mezcla con fluidos que contienen azufre reducido en forma de H₂S, reemplazamiento de sulfuros de hierro diagenéticos, o reacción con azufre liberado por degradación térmica de compuestos orgánicos; ii) transporte de los metales base junto con sulfato en la misma solución y su precipitación como resultado de la reducción de sulfato por reacción con materia orgánica o metano; y iii) transporte de los metales base junto con azufre reducido y su precipitación por cambios de pH o temperatura (Alldrick y Sangster 1995).

Las fuentes principales de los metales presentes en las mineralizaciones MVT son las rocas del basamento y sus productos erosivos detríticos (Leach et al. 2010). Sin embargo, Saintilan et al. (2019), mediante un estudio isotópico de Pb en el yacimiento MVT de Laisvall

(Suecia), ponen de manifiesto que el petróleo y aguas asociadas pueden proporcionar metales en cantidades significativas.



1.2. Antecedentes en el estudio de yacimientos tipo MVT en Perú

En Perú, un importante cinturón de depósitos MVT se formó en asociación a eventos tectónicos compresivos desde el Cretácico superior hasta el Terciario. Los cuerpos minerales MVT en Perú están alojados en rocas carbonatadas del Grupo Pucará (Rosas et al. 2007; de Oliveira et al. 2019), como se explica con mayor detalle en el apartado 3 de esta tesis. Existen varios estudios previos sobre los yacimientos de 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) y Shalipayco (Moritz et al. 1996; de Oliveira 2019, de Oliveira et al. 2020), en la zona centro del Perú, y de Cañón de Florida (Basuki et al. 2008, de Oliveira et al. 2019, 2020), Florcita (Basuki et al. 2008) y Cristal (Mondillo et al. 2018a, b) en el distrito de Bongará ubicado en el norte del Perú (Figura 1).



Figura 1: Ubicación de los principales yacimientos MVT en el Perú. Mapa con unidades morfoestructurales modificado de Basuki et al. (2008). Topografía tomada de JPL-NASA©.

Badoux et al. (2001) concluyeron que el yacimiento de San Vicente es un depósito sintectónico andino basándose en análisis estructural. Las estructuras catalogadas, con un buzamiento promedio de 25-30° O, indican compresión con dirección E-O durante el emplazamiento tectónico de la granodiorita Tarma por encima de la secuencia del Grupo Pucará, que aloja la mena. Las secuencias reconocidas con clastos con textura tipo cebrá dentro de las brechas y las fallas tardías se interpretan como estructuras tensionales dentro de un modelo de zona de corte simple dextral que se formaron a medida que avanzaba la compresión (Badoux et al. 2001). Dávila et al. (2000) explica que el cambio de facies permeables (facies San Vicente) a menos permeables (facies Vilcapoma) constituye una trampa de hidrocarburos y azufre reducido en la que ocurrió la mineralización.

Una de las texturas más características de la mina San Vicente y de los depósitos MVT en general es la textura cebrá. Fontboté (1993) y Merino et al. (2006) aseguran que son texturas de auto-organización resultando de procesos de disolución, precipitación y, en parte, cristalización desplazante. Bajo esta premisa, Kelka y Koehn (2014) realizaron una simulación microdinámica en la que concluyeron que el crecimiento de grano se ve influenciado por la distribución de partículas.

Spangenberg et al. (1999) realizaron análisis de tierras raras (REE) de los carbonatos de San Vicente. La dolomita formada durante los estadios de mineralización registra anomalías negativas de cerio (Ce) y posiblemente de europio (Eu; las concentraciones de este elemento en estas dolomitas están mayormente por debajo de su límite de detección, por lo que los autores no pueden asegurar la existencia misma de esta anomalía). La anomalía negativa de Ce sugeriría que el fluido mineralizante era relativamente oxidante.

Fontboté y Gorzawski (1990) realizaron análisis isotópicos de Sr, Pb, O, C y S en minerales de mena y ganga del depósito San Vicente. Los resultados obtenidos indican

equilibrio y mezcla entre una salmuera enriquecida en Sr radiogénico y la roca hospedante carbonatada que tiene composiciones isotópicas de Sr muy cercanas a las del agua de mar del Jurásico inferior al Triásico superior. Estos autores concluyeron que la salmuera basal incorporó Sr radiogénico de series detríticas del Grupo Mitu o de la Formación Sarayaquillo por lixiviación de silicatos que contienen Rb. La evolución de la signatura isotópica de Sr hacia valores más radiogénicos durante la mineralización llevó a Fontboté y Gorzawski (1990) a la conclusión de que hubo un incremento de la relación salmuera/roca. Moritz et al. (1996) coinciden con los autores anteriores en la identificación que las relaciones isotópicas de Sr en yeso, carbonatos y dolomita de reemplazamiento son similares a los del agua marina en el Jurásico inferior y Triásico superior. Moritz et al. (1996) atribuyen el enriquecimiento en ^{87}Sr en carbonatos, de la parte basal de la cuenca de Pucará y en carbonatos asociados a la mena MVT, a la interacción de los fluidos con rocas del escudo brasileño, intrusiones Triásicas (granito de San Ramón) y sus productos erosivos. Valores de Pb altamente radiogénicos sugieren derivación de la corteza superior del escudo brasileño.

Los resultados isotópicos de O y C de la roca huésped se encuentran en el rango típico para los carbonatos marinos del Jurásico inferior (Fontboté y Gorzawski 1990). En las muestras de dolomita temprana, las relaciones isotópicas de O y C son muy similares a las de la roca huésped, mientras que con el avance de la diagénesis se da una variación de éstas hacia valores más livianos. Los autores indican que esta tendencia se daría por una combinación de efectos de temperatura, distintas proporciones de interacción fluido/roca y en el caso específico del C, por incorporación de carbono orgánico (Fontboté y Gorzawski 1990; Moritz et al. 1996).

Fontboté y Gorzawski (1990), Moritz et al. (1996), Spangenberg et al. (1999) y Schutfort (2001) realizaron estudios isotópicos de S en el yacimiento de San Vicente. Fontboté y Gorzawski (1990) y Spangenberg et al. (1999) encontraron una restringida variación de $\delta^{34}\text{S}$

en sulfuros con enriquecimiento en el isótopo pesado con respecto a valores típicos de sulfuros precipitados a partir de fluidos magmáticos y magmático-hidrotermales. Los autores atribuyeron este enriquecimiento a la presencia de azufre reducido abiogénicamente derivado del sulfato del agua marina, aguas connatas y/o evaporitas marinas del Triásico medio al Jurásico tardío. La presencia de hidrocarburos en las rocas carbonatadas encajonantes habría aportado las condiciones necesarias para la reducción de los sulfatos por reducción termoquímica. Cálculos geotermométricos por pares isotópicos en sulfuros y mediciones microtermométricas en inclusiones fluidas realizados por Fontboté y Gorzawski (1990) arrojan temperaturas de cristalización entre ~70 y 140 °C, consistentes con la temperatura indicada por el gradiente geotérmico a una profundidad de soterramiento de 2-3 km.

En el depósito Shalipayco, estudios isotópicos de S, C y O, y microtermométricos en inclusiones fluidas llevaron a de Oliveira (2019) a inferir una mezcla de fuentes de azufre reducido mediante procesos de sulfatorreducción termoquímica, bacteriana y/o posible craqueo térmico de materia orgánica acumulada en dolomía porosa y estratos de brechas evaporíticas interpretados como facies sabkha. Millán-Núñez (2020) realizó un estudio petrográfico en el que identificó 5 tipos/generaciones de esfalerita, que se diferencian por el color de sus reflejos internos y sus características texturales, y elaboró una secuencia paragenética del depósito.

En Cañón Florida y Florcita, en la región de Bongará, Basuki et al. (2008) realizaron estudios isotópicos de S y determinaron que, para Florcita, la fuente del S habría sido sulfato del agua marina del Cretácico tardío y para Cañón Florida, evaporitas del Jurásico-Triásico. Además, señalan que la sulfatorreducción termoquímica habría sido el principal mecanismo de producción de H₂S para la precipitación de sulfuros. Para Cañón Florida, adicionalmente, sugieren un posible aporte de azufre reducido a partir de craqueo térmico de compuestos órgano-sulfurados y de restos de H₂S formados por sulfatorreducción bacteriana. de Oliveira

et al. (2019) proponen que la precipitación de los sulfuros fue consecuencia de la mezcla de fluidos ricos en metales con H₂S presente en la zona de cristalización.

de Oliveira et al. (2019, 2020) concluyeron que el domo presente en Cañón de Florida se habría formado por halokinesis de niveles evaporíticos de los Grupos Pucará y Mitu durante la Orogenia Juruá (157-152 Ma). La formación de la dolomía porosa y brecha evaporítica habría tenido lugar durante la diagénesis por soterramiento entre las etapas Juruá y Mochica, época en la que también se habría dado la migración de petróleo a estas rocas. Finalmente, a partir de edades radiométricas en esfalerita y galena (Pb-Pb y Rb/Sr), estos autores sugieren que la mena de sulfuros se habría formado durante un único evento de mineralización durante la orogenia Peruana (86-83 Ma).

En el depósito Cristal, Mondillo et al. (2018a) realizaron estudios isotópicos de S, O y Pb. Las relaciones isotópicas de S sugieren que la sulfatorreducción termoquímica fue el principal mecanismo de reducción del S. La composición isotópica de Pb apuntaría a las rocas del basamento paleozoico (Complejo Marañón) como una de las principales fuentes de los metales en combinación con una segunda fuente ígnea (posiblemente, rocas intrusivas del Paleozoico – Mesozoico temprano o rocas volcánicas triásicas del Grupo Mitu). Mondillo et al. (2018b) realizaron un estudio de elementos traza en esfalerita del depósito Cristal. Mediante el uso del geotermómetro TGGIMFis en esfalerita propuesto por Frenzel et al. (2016), Mondillo et al. (2018b) indican que la cristalización de esta fase se habría dado a una temperatura de 225 ± 50 °C, la cual es anormalmente alta para un depósito MVT. Esta temperatura sería suficiente para que procesos de sulfatorreducción termoquímica tuvieran lugar.

1.3. Elementos de alta tecnología en yacimientos tipo MVT

El rápido crecimiento de las economías emergentes, el desarrollo acelerado de productos de alta tecnología y la preocupación de que las nuevas tecnologías sean medioambientalmente sostenibles han dado lugar a un aumento en la demanda mundial de determinados elementos y minerales considerados como materias primas críticas (European Commission 2020).

La criticidad de un material específico se determina de acuerdo a su importancia económica y el riesgo en su suministro (European Commission 2020) y, adicionalmente, al TEMB (time to maximum extraction as a by-product), que estima el tiempo esperado hasta que la producción primaria de un subproducto determinado sea igual a su potencial de oferta (Frenzel et al. 2017). En el último análisis realizado por la European Commission (2020) se han considerado 30 materias primas como críticas y/o estratégicas, dentro de las cuales se encuentran el galio (Ga) y el germanio (Ge), elementos sobre los que se centra el presente estudio.

El Ga tiene una abundancia promedio en la corteza de 19 ppm, que es mayor respecto a otros metales como el Pb (10 ppm). Sin embargo, no se obtiene a partir de minerales propios (es decir, en los que el Ga es un elemento estructural) o como metal nativo, sino que se extrae como subproducto de la producción de aluminio o zinc (Butcher y Brown 2014). Sus propiedades lo hacen esencial para el crecimiento tecnológico actual en forma de i) CIGS (compuesto semiconductor de Cu, In, Ga y Se), de gran uso para fabricar celdas fotovoltaicas de película delgada livianas, flexibles y duraderas que tienen un alto coeficiente de absorción; ii) antimoniuro de Ga (GaSb), que se utiliza en sistemas de infrarrojo para navegación nocturna (FLIR); iii) arseniuro de Ga (GaAs), usado en diodos emisores de infrarrojo (IRED), diodos láser (LD) y diodos de luz (LED); iv) nitruro de Ga (GaN), usado en la fabricación de LED, LD y en dispositivos de alta frecuencia y alta potencia; y v) otros productos químicos como

nitrate de Ga, que sirve para fines químico-farmacéuticos (Butcher y Brown 2014; Foley et al. 2017).

El Ge tiene una abundancia de 1.5 ppm en la corteza oceánica y de 1.6 ppm en la corteza continental (Taylor y McLennan 1985 en Melcher y Buchholz 2014). Se recupera como subproducto en la producción de cobre, zinc y plomo. Es un semiconductor transparente en estado cristalino que tiene un alto índice de refracción y una baja dispersión cromática. Este metal se usa como i) Ge cristalino, que se utiliza como semiconductor y en dispositivos ópticos infrarrojos; ii) tetracloruro de Ge (GeCl_4), que permite mejorar el índice de refracción de la fibra óptica para telecomunicaciones; iii) dióxido de Ge (GeO_2), que se utiliza como catalizador en la producción de plástico de alta calidad (PET); y iv) los sustratos de germanio, que se utilizan como capa base en las celdas fotovoltaicas de uso múltiple (Melcher y Buchholz 2014; Shanks et al. 2017).

Tanto Ga como Ge se pueden obtener como subproducto del tratamiento de sulfuros, entre los cuales se destaca la esfalerita. Estos elementos estratégicos se encuentran en su estructura a niveles de trazas y son incorporados en forma de sustituciones directas y acopladas que dependen de las condiciones de cristalización de la esfalerita (Belissont et al. 2014 y sus referencias; Paradis 2015). En el yacimiento Tres Marías (México; para algunos considerado MVT), Cook et al. (2009) proponen sustituciones acopladas para el Ge y el Ga en la esfalerita tales como $2\text{Fe}^{2+} + \text{Ge}^{4+} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$ debido a la evidente correlación positiva entre Ge y Fe, y $(\text{Ag}, \text{Cu})^+ + \text{Ga}^{3+} \leftrightarrow 2\text{Zn}^{2+}$. Un estudio posterior de Cook et al. (2015) propone la sustitución $\text{Zn}^{2+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+} + \text{vacante}$ (para compensar balance de carga) como mecanismo principal de incorporación de Ge. Belissont et al. (2014) en sus estudios de esfalerita en el yacimiento Saint-Salvy (Francia) sugieren sustituciones acopladas como $3\text{Zn}^{2+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+} + 2\text{Ag}^+$. En el yacimiento

de Lehong (China), debido a la fuerte correlación binaria entre Ge y Cu, Wei et al. (2019) proponen una sustitución acoplada $3\text{Zn}^{2+} \leftrightarrow 2\text{Cu}^+ + \text{Ge}^{4+}$.

Frenzel et al. (2016) y Knorsch et al. (2020) determinaron que las concentraciones de elementos traza en esfalerita son controladas por el origen, la temperatura y la salinidad del fluido hidrotermal a partir del cual precipita. Frenzel et al. (2016) proponen incluso un nuevo geotermómetro basado en la composición de elementos traza de este mineral. De acuerdo a estos autores, fluidos de origen magmático, de alta temperatura y baja salinidad son favorables para el enriquecimiento de In en esfalerita, mientras que fluidos de cuenca, de baja temperatura y alta salinidad se correlacionan con enriquecimiento en Ge y Ga en este sulfuro. La esfalerita de yacimientos alojados en carbonatos contiene hasta 2600 ppm de Ge en Saint-Salvy (Belissont et al. 2014) y 536 ppm de Ge en Lehong (Wei et al. 2019). En Tres Marías, Cook et al. (2009) reportan concentraciones de hasta 1081 ppm de Ge y 2.6 ppm de Ga en cristales enriquecidos en Fe, y 252 ppm de Ge y 24 ppm de Ga en cristales con menor Fe. En 2002, la extracción de Ga de esfalerita en yacimientos MVT fue de 6,500 t (Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2002 en Marsh et al. 2016).

Soler (1987) analizó muestras de 89 depósitos de los Andes Centrales en Perú, entre los cuales se encuentran San Vicente y Shalipayco, que son objeto de esta tesis. En sus estudios, Soler (1987) encontró que, aunque el Ge está presente en depósitos de baja temperatura sin volcanismo asociado, también existen otros factores que condicionan la presencia de este y otros metales en los depósitos con esfalerita tales como, según el autor, la edad de la roca y la posición geográfica de cada depósito. En cuanto al Ga, encontró que es uno de los metales que presentan una mayor variación, con cierta correlación positiva con los valores de In.

Un estudio realizado por Mondillo et al. (2018b) en el depósito MVT de Cristal, en Bongará, reporta concentraciones en esfalerita de hasta 386 ppm Ge y valores promedio de 142

ppm Ge, y de hasta 6.6 ppm Ga y valores promedio de 1.3 ppm. El clima cálido y húmedo y la afinidad química que el Ge tiene con Si^{4+} y Fe^{3+} han resultado en la formación de una zona de oxidación con hidrosilicatos de zinc e hidróxidos de Fe que incorporan Ge y evitan su dispersión durante procesos supergénicos. En zonas de oxidación y enriquecimiento supergénico, Mondillo et al. (2018b) registraron concentraciones de Ge de hasta 258 ppm en hemimorfita y de hasta 511 ppm en goethita.

1.4. Problemática

Diversos estudios han mostrado que los yacimientos de Zn y Pb alojados en carbonatos, principalmente los MVT, pueden contener cantidades elevadas de Ge y Ga (Cook et al. 2009; Belissont et al. 2015; Paradis 2015; Frenzel et al. 2016; Shanks et al. 2017; Knorsch et al. 2020). Sin embargo, estudios detallados de las concentraciones de estos elementos en yacimientos de esta tipología en Perú son muy limitados (p.ej., Bongará; Mondillo et al. 2018b). Si bien se ha analizado la concentración de elementos traza en muestras de concentrado de los yacimientos de San Vicente y Shalipayco (Soler 1987), la información proporcionada es de escala regional y hay una deficiencia en cuanto a patrones de zonación a escala de yacimiento o la determinación de la expresión mineralógica de estas concentraciones y su evolución a lo largo de secuencias paragenéticas.

1.5. Objetivos del trabajo

Objetivo general:

Determinar la concentración de elementos traza, con especial enfoque en aquellos de interés tecnológico (p.ej., Ga y Ge) en esfalerita de yacimientos MVT de Perú.

Objetivos específicos:

- a) Caracterizar petrográficamente las mineralizaciones del yacimiento MVT de San Vicente (caracterización petrográfica de Shalipayco disponible en Millán-Núñez 2020);

- b) Distinguir y catalogar las diferentes generaciones de esfalerita en este yacimiento;
- c) Analizar la composición geoquímica de elementos mayoritarios, minoritarios y traza de granos de esfalerita en San Vicente y Shalipayco y compararla con la de otros yacimientos MVT de Perú y el mundo; y
- d) Establecer pautas macroscópicas (p.ej., color o textura de la esfalerita) que puedan ayudar en la exploración de metales estratégicos (Ge, Ga) en yacimientos MVT.

1.6. Hipótesis

Se plantean las siguientes hipótesis:

- a) Los yacimientos MVT de San Vicente y Shalipayco poseen esfalerita que tiene un contenido atractivo de Ga y Ge.
- b) Analizar muestras de estos dos yacimientos servirá para mejorar nuestro conocimiento sobre los mecanismos de enriquecimiento de metales críticos en esfalerita a partir de fluidos salinos a temperaturas inferiores a 200 °C.
- c) El contenido de Ga y Ge varía entre las diferentes generaciones de esfalerita.
- d) El color de la esfalerita, muy variable en la mayoría de los yacimientos MVT, puede servir de guía para identificar zonas enriquecidas en elementos tecnológicos como Ge y Ga.

1.7. Justificación

Los elementos críticos Ga y Ge son esenciales para el desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren la calidad de vida y aseguren un futuro sostenible y ecoamigable. Su uso en varias tecnologías novedosas permite aprovechar los recursos renovables de la naturaleza y el desarrollo de fuentes inagotables de energía en armonía con el medio en el que vivimos. Además, este estudio proporcionará información detallada sobre la presencia de Ga y Ge en

dos yacimientos tipo MVT de Perú. Como aporte científico, ayudará a comprender los mecanismos que favorecen la concentración de estos elementos en yacimientos MVT.



2. Muestreo y técnicas analíticas

2.1. Muestreo y preparación de las muestras

Se tomaron un total de 32 muestras de campo, 16 del depósito Shalipayco y 16 del depósito San Vicente. Las muestras de Shalipayco se tomaron de sondajes diamantinos: 11 del manto Intermedio y 5 del manto Resurgidora. En el caso de San Vicente se tomaron 14 muestras de sondajes y 2 muestras de galerías. El Anexo I contiene una lista de las muestras estudiadas en esta tesis, su procedencia y su descripción macroscópica.

2.2. Técnicas analíticas

2.2.1. Microscopio petrográfico

Se fabricaron 38 secciones pulidas, 16 del depósito Shalipayco y 22 del depósito San Vicente, en las instalaciones del laboratorio QEMSCAN en la Sección de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Estas preparaciones han sido estudiadas mediante un microscopio petrográfico marca “Zeiss Primotech” de polarización con luz transmitida y reflejada equipado con una cámara digital. Fichas individuales con la petrografía de cada sección pulida estudiada quedan recogidas en el Anexo II.

2.2.2. EPMA

Los análisis químicos puntuales de los sulfuros presentes en las muestras se analizaron a través de una microsonda electrónica JEOL JXA-8230 equipada con cinco espectrómetros en los Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCiT-UB). El equipo fue operado a un voltaje de aceleración de 20 kV, haz de corriente de 20 nA y diámetro del haz de 5 μm . En la Tabla 1 se enumeran las líneas espectrales de análisis y los estándares usados para la medición y calibración de cada elemento. En el Anexo III se muestran algunos análisis representativos de EPMA.

Tabla 1: Líneas espectrales y estándares usados para la medición y calibración de cada elemento.

Elemento	Línea espectral	Estandar
Sb	La	Sb
In	Lb	In ₂ Se
S	Ka	Esfalerita
Pb	Ma	PbS
As	Lb	GaAs
Fe	Ka	FeS ₂
Cu	Ka	Calcopirita
Zn	Ka	Esfalerita
Ga	Ka	GaAs
Ge	Ka	Ge
Cd	Lb	CdS
Ag	La	Ag
Sn	La	Sn

2.2.3. Ablación láser ICP-MS

Los análisis de las concentraciones de elementos traza de sulfuro se llevaron a cabo en ETH Zürich, Suiza mediante ablación láser acoplada a espectrometría de masas de campo magnético con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (LA-ICP-SF-MS). Se usó un sistema láser RESolution S-155 (ASI / Applied Spectra) 193 nm excimer ArF conectado a un ICP-MS de campo magnético Element XR (Thermo). Se utilizó una tasa de repetición láser de 3 Hz, un diámetro de punto de 19 μm y una densidad de energía láser en muestra de aprox. 2.5 $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$. La superficie de la muestra se limpió inmediatamente antes de cada análisis mediante tres pulsos de preablación. La ablación se realizó en una celda de ablación S-155 de lavado rápido de doble volumen (Laurin Technic) fluida con gas portador que consta de aprox. 0.5 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ He y gas de reposición que consiste en aprox. 1 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ Ar y 2 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ N₂. El aerosol ablacionado fue homogenizado mediante un lavado a través de un dispositivo squid antes de introducirse en el plasma.

El instrumento ICP-MS está equipado con una bomba de interfaz de alta capacidad (80 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) para lograr, en combinación con un muestreador jet y conos H-skimmer normales, una

eficiencia de detección (basada en U en vidrio NIST SRM612) en el rango de 2% (Guillong et al. 2020). El instrumento fue optimizado para una sensibilidad máxima en todo el rango de masa, mientras se mantiene baja la producción de óxidos ($^{248}\text{ThO} + / ^{232}\text{Th} + \leq 0.15\%$) y la relación U / Th en aprox. 1 (en cristal NIST SRM612). La lista de isótopos analizados y los tiempos de permanencia correspondientes se proporcionan en el Anexo IV. Se obtuvo un total de 68 escaneos en masa (aproximadamente 0.72 s de tiempo de barrido cada una) durante aproximadamente una medición de 50 s (25 s de medición de fondo seguida de 25 s de ablación de muestra).

La reproductibilidad analítica se verificó mediante mediciones repetidas de los materiales de referencia de vidrio GSD-1G (Guillong et al. 2005) y NIST SRM610 (Jochum et al. 2011), y oscila entre 10 y 30% relativo (2σ) para la mayoría de los elementos. Las incertidumbres citadas para cada análisis individual corresponden al error estadístico interno (2σ) y la reproductibilidad analítica propagada por adición cuadrática. La precisión se controló mediante mediciones repetidas del granulado prensado con sulfuro UQAC-FeS-1 (datos no publicados de D. Savard, UQAC, 2018; ver también Baumgartner et al. 2020). Los resultados (reportados en el Anexo V) muestran que las mediciones son precisas dentro de las incertidumbres calculadas.

3. Situación geográfica y geológica

3.1. Situación geográfica

3.1.1. Yacimiento de Shalipayco

El yacimiento de Shalipayco se encuentra ubicado en la parte centro-oeste del Perú, departamento de Junín, provincia de Carhuamayo, en la 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 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 “clima frío” o “boreal” con temperaturas anuales promedio de 7 °C. El periodo de invierno es entre mayo y septiembre y las temperaturas mínimas alcanzan -5.7 °C. Se registran precipitaciones temporales, que en términos generales no interrumpen el trabajo. 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 en el desarrollo del proyecto (Altman et al. 2017).

3.1.2. Yacimiento de San Vicente

El yacimiento de San Vicente se encuentra ubicado en la parte centro de Perú, departamento de Junín, provincia de Chanchamayo, en el distrito de Vitoc en la ceja de selva central peruana. Se ubica 17 km al sur de San Ramón y 300 km al este de Lima (Figura 2) a 11°14' S de latitud y 75°22' O de longitud a una altura de entre 1 400 a 2 000 m.s.n.m. Se

extiende 30 km en dirección NS con un ancho variable entre 1 y 8 km (Dávila et al. 2000; Schutfort 2001; SIMSA 2019).

El acceso a este depósito es por la Carretera Central iniciando la ruta desde Lima hacia el noreste durante una distancia de 185 km hasta La Oroya, siguiendo después hacia el noreste por las carreteras 3N y 22B por una distancia de 105 km hasta San Ramón y, finalmente, por la carretera 104 hacia el sureste durante una distancia de 17 km hasta el yacimiento San Vicente (SIMSA 2019).

El clima en el área es cálido y húmedo con una temperatura promedio anual de 23 °C. La vegetación en la zona es abundante y la exposición de la roca madre es limitada. Se registran precipitaciones a lo largo de todo el año, con un promedio anual de 1 863 mm. El periodo más lluvioso es entre diciembre y abril y el más seco, entre mayo y noviembre (Schutfort 2001; SENAMHI 2019).

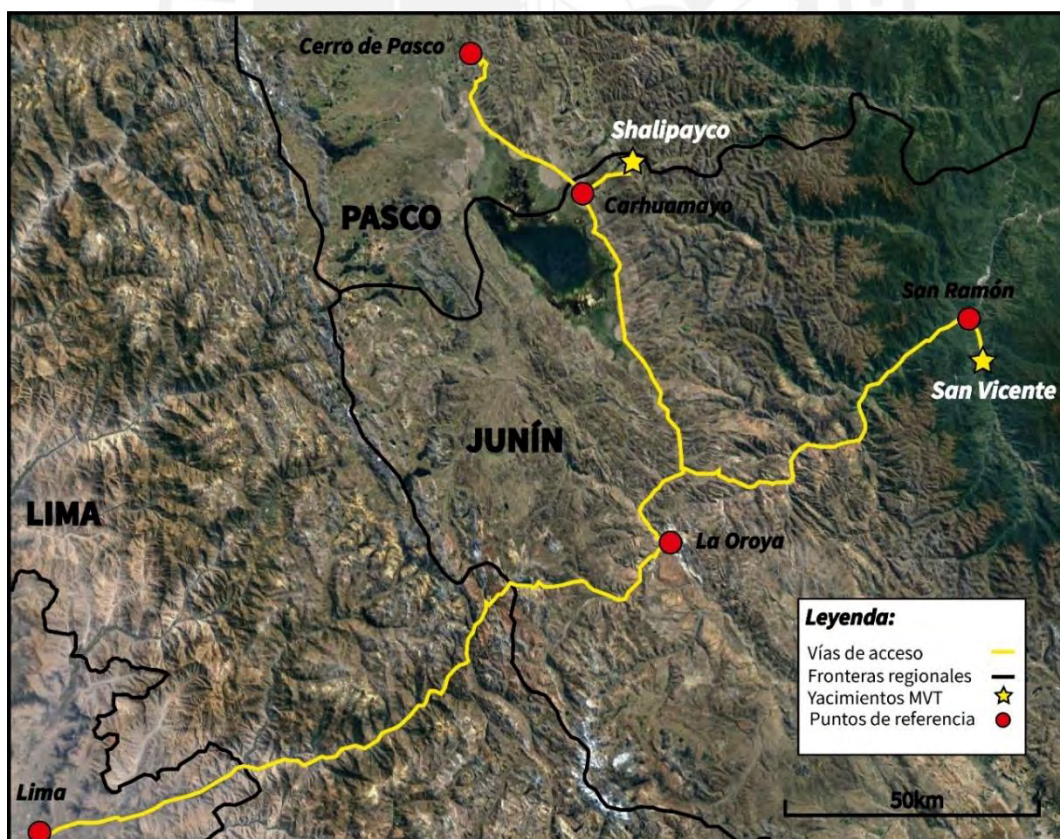


Figura 2: Ubicación de los yacimientos Shalipayco y San Vicente, accesibilidad y puntos de referencia. Mapa base tomado de Google Earth.

3.2. Situación geológica

3.2.1. Geología regional del cinturón de yacimientos MVT de Perú

Como producto de esfuerzos tectónicos, en el Pérmico tardío se produjo un hundimiento regional generalizado que formó un amplio mar epicontinental en el que la Formación Ene se depositó regionalmente y, posteriormente, fue deformada por la orogenia Juruá. Los sedimentos del Grupo Mitu se depositaron en depocentros, por encima de la estratigrafía más antigua deformada, bajo un contexto de subsidencia controlada por fallas (Rosas et al. 2007). El Grupo Mitu, de edad triásica media, se caracteriza por contener andesitas y riolitas, conglomerados y sedimentos detríticos (Rosas et al. 2007; Spikings et al. 2016).

Cuando el hundimiento por fallas cesó, se produjo una subsidencia regional en la que los diversos depocentros se unieron y formaron la cuenca Pucará. Posteriormente, en esta cuenca tuvo lugar una sedimentación de carbonatos marinos entre el Triásico superior y el Jurásico inferior que se pueden dividir en tres fases diferenciadas, dos caracterizadas por sedimentación de carbonatos de aguas poco profundas y una intermedia caracterizada, en el Altiplano y la Cordillera Oriental, por sedimentación de niveles de lutitas bituminosas que evidencian una profundización debido a la persistencia de algunas fallas del contexto tectónico Mitu. El Grupo Pucará, huésped de la mena MVT, está constituido por rocas carbonatadas de ambiente predominantemente somero y de piso a techo comprende las Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga (Rosas et al. 2007).

La Formación Chambará, de edad Noriense-Rhaetiense, es predominantemente dolomítica y está constituida por una gruesa secuencia de dolomías intercaladas con calizas dolomíticas, calizas gris oscuro y calizas fosilíferas. En la parte inferior de la secuencia hay mayor contenido de material detrítico compuesto por conglomerados, areniscas y flujos de andesita basáltica que rellenan las superficies de erosión. El chert es omnipresente en esta formación y se presenta como bandas y nódulos centimétricos. Otros componentes

macroscópicos comunes incluyen pseudomorfos de evaporitas y macrofósiles (Rosas et al. 2007). Esta formación muestra, en algunos casos, una transición gradual de facies similares a las del Mitu superior, lo que puede dificultar la distinción entre las dos unidades (Rosas et al. 2007).

La Formación Aramachay, de edad Rhaetiense-Sinemuriense, está constituida por calizas bituminosas, lutitas arcillosas negras con componentes clásticos y sedimentos pelíticos con abundante materia orgánica (Rosas et al. 2007). Se identifica dolomitización y litologías arcillosas recristalizadas (Rosas et al. 2007). Las calizas bituminosas y limosas de esta formación son visibles y se conocen localmente en San Vicente como caliza Uncush (Dávila et al. 2000). En la Cordillera Occidental del centro del país, se ha identificado abundante material derivado de esponjas silíceas que habrían habitado plataformas someras. Esto evidencia que hay dominios en la Formación Aramachay que no registran la transgresión típica, la cual estaría restringida a la Cordillera Oriental, en la que se encuentra la zona de estudio y donde las series carbonatadas se habrían depositado en ambientes de cuenca profunda (Rosas et al. 2007; Ritterbush et al. 2015).

La Formación Condorsinga, de edad Sinemuriense-Toarciense, está constituida por calizas packstone a grainstone con abundante chert, calizas dolomíticas con presencia de macrofósiles y caliza bioturbada (Rosas y Fontboté 1995). Se diferencia de la Formación Chambará por tener una menor cantidad de chert y un grado de dolomitización mucho menor (Rosas et al. 2007). Esta sedimentación fue interrumpida por la retirada de los mares que tuvo lugar en el Jurásico medio temprano (Rosas et al. 2007).

Con respecto a la actividad ígnea intrusiva, en la zona de San Vicente se distinguen dos importantes unidades. En la parte oriental se encuentra el granito San Ramón, emplazado en el Triásico Inferior Medio (246 ± 10 Ma, Capdevila et al. 1977, edad recalculada por Lancelot et

al. 1978; 255 ± 1 Ma según Gunnesch et al. 1990). Esta edad es consistente con la presencia de fragmentos de este granito en los conglomerados del Grupo Mitu (Fontboté y Gorzawski 1990). En la parte oeste del distrito minero de San Vicente, se encuentra la granodiorita Tarma, que está altamente tectonizada, y tiene edad Triásica (240 ± 4 Ma; Gunnesch et al. 1990), sobreyaciendo las rocas carbonatadas del Grupo Pucará en un contacto de falla con buzamiento 20-40 O (Fontboté y Gorzawski 1990).

La franja metalogenética principal de depósitos MVT se sitúa en la parte oriental de la cuenca Pucará en la zona Subandina del centro y norte del Perú en el margen occidental del Escudo Brasileño (Figura 3) (Benavides-Cáceres 1999). Esta franja está controlada por un sistema importante de fallas de dirección NO-SE y cabalgamientos entre la Cordillera Oriental y la Zona Subandina. También se pueden encontrar depósitos MVT, como Shalipayco, en la parte occidental de la franja, en anticlinales cerrados. Edades radiométricas en esfalerita y galena (Pb-Pb y Rb/Sr) del depósito Cañón Florida indicarían que estas mineralizaciones se depositaron en el Cretácico Superior entre ca. 86-83 Ma, durante o justo después de la Orogenia Peruana (de Oliveira et al. 2020). Existe un importante control estructural, ya que la cuenca ha evolucionado en un contexto de rift continental en el que las fallas han controlado los cambios de facies, espesores y movilización del fluido mineralizante (Fontboté y Gorzawski 1990; Carlotto et al. 2009). En la zona centro (donde se ubica el depósito San Vicente), las fallas sufrieron una inversión tectónica en la que la cuenca comenzó a levantarse y se produjeron cabalgamientos. En la zona norte (distrito Bongará), las fallas normales se convirtieron en fallas inversas casi verticales que evitaron el desplazamiento horizontal de la cuenca (Carlotto et al. 2009).

En el área de San Vicente, el basamento de rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico tuvo un importante control tectónico en la formación de este depósito mediante una

dinámica de formación de *horsts* y *grabens* que controlaron las facies en los márgenes de la cuenca, la formación de barras oolíticas y las estructuras que permitieron la formación de trampas de hidrocarburos (Dávila et al. 2000). Importantes diferencias de potencia observadas en el área de San Vicente respaldan que durante la sedimentación de las rocas del Grupo Pucará hubo una tectónica de bloques y que en esta zona de ruptura se formaron los conductos que permitieron la mineralización (Dávila et al. 2000). Entre el Cretácico Superior y el Terciario tuvieron lugar eventos compresivos que ocasionaron sobrescurrimientos de bajo ángulo con vergencia O y desplazamientos hacia el E en los que la granodiorita Tarma y el basamento metamórfico precámbrico se desplazaron sobre las rocas carbonatadas de Pucará en la zona de empuje Utcuyacu (Figura 4) (Dávila et al. 2000; Badoux et al. 2001). La mineralización tuvo lugar en este contexto orogénico, como es evidenciado en diferentes estructuras minerales incluyendo las de textura cebra que muestran concordancia con la inclinación del lecho y la principal orientación de empuje (Badoux et al. 2001).

En el área de Bongará, las direcciones regionales de las estructuras son NO-SE, NNO-SSE, con algunas fallas locales menos importantes con dirección NE-SO (Carlotto et al. 2009). Los sistemas de fallas dominantes son fallas inversas con fallas normales subordinadas (Basuki et al. 2008). Se ha encontrado evidencia de tectónica salina y se han identificado diapiros y cúpulas de sal debajo de la secuencia del Grupo Pucará que pudieron haber sido un factor importante en la formación de algunos depósitos MVT de la región, como Cañón de Florida (de Oliveira et al. 2019, 2020).

En la zona del proyecto Shalipayco (Figura 3), las calizas del Grupo Pucará están moderadamente plegadas, formando monoclinales sumergidos entre 30 y 45 ° hacia el suroeste (INGEMMET 1996 visto en Altman et al. 2017). 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, se consideran estructuras de primer orden que son concordantes con el patrón estructural regional. En la zona se reconoce un segundo sistema estructural conocido como Sistema Transversal que incluye las fallas de Eddy, San Teodoro, Virgencita, Pucará y Santa Inés, que pudieron actuar como posibles canales de alimentación para la mineralización (Altman et al. 2017).

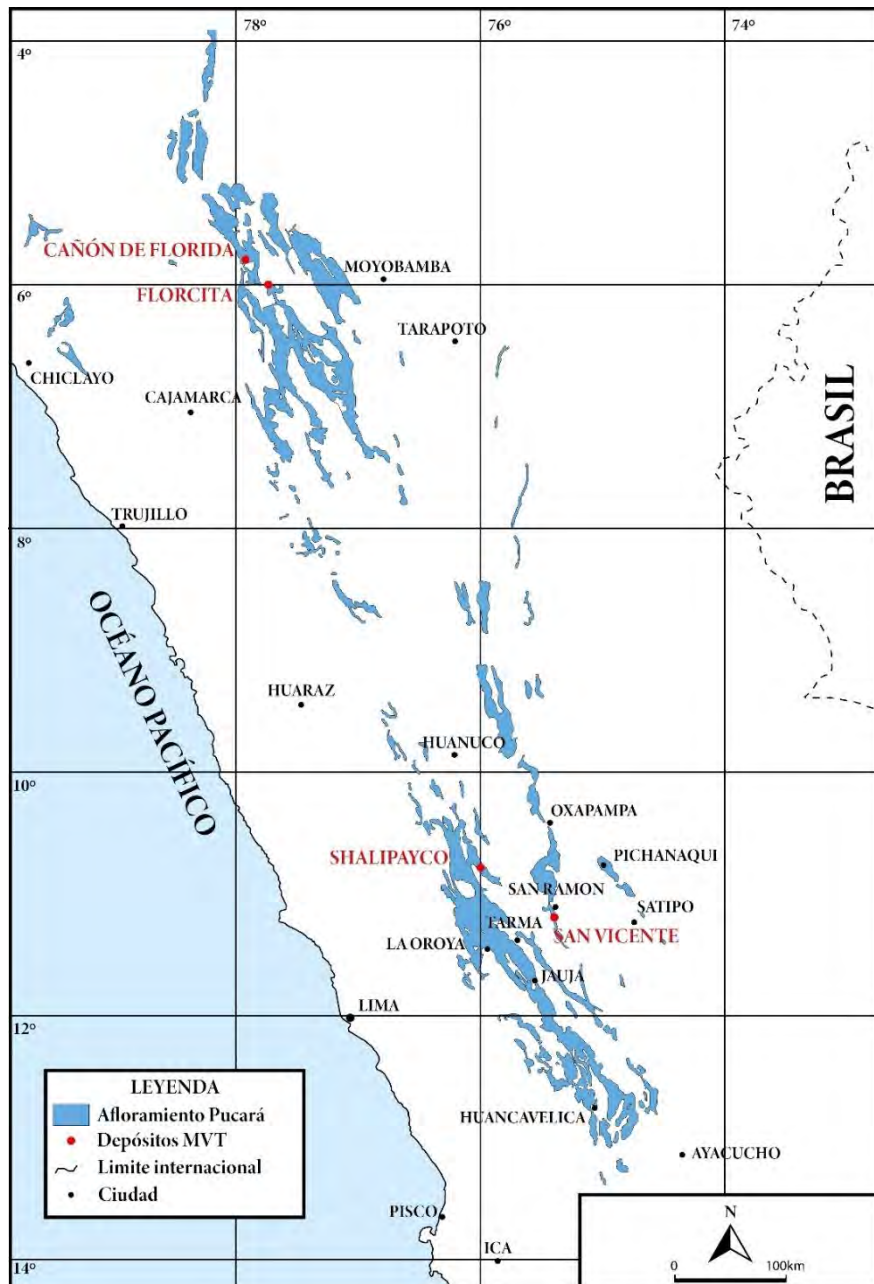


Figura 3: Ubicación de los yacimientos MVT del Perú sobre las rocas carbonatadas aflorantes del Grupo Pucará. Modificado de Dávila et al. (2000).

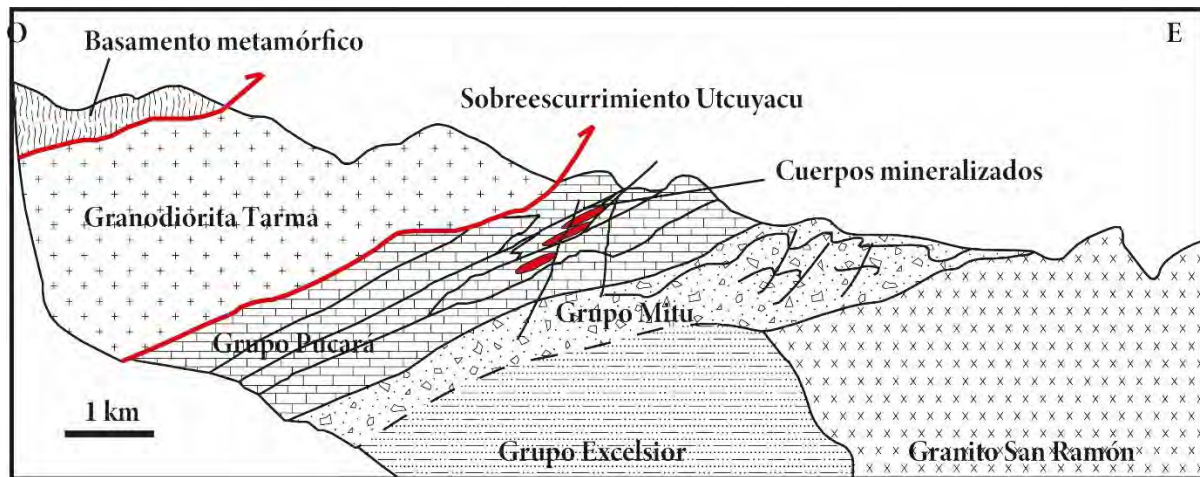


Figura 4: Sobreescorrimiento de Utcuyacu de la granodiorita Tarma y el basamento metamórfico sobre las rocas calcáreas del Grupo Pucará. Modificado de Badoux et al. (2001)

3.2.2. Geología del yacimiento de Shalipayco

La mineralización metálica del yacimiento de Zn-Pb de Shalipayco se encuentra alojada en los carbonatos del Grupo Pucará. La secuencia estratigráfica de la zona inicia con el Complejo Metamórfico de Maraynioc que está constituido por esquistos y gneises (Mégard 1978; Fontboté y Gorzawski 1990). Sobre éstos se encuentra la Formación Contaya, de edad Ordovícica y compuesta por pizarras (Scherrenberg et al. 2012; Altman et al. 2017), y el Grupo Excelsior, de edad Devónica y constituida por filitas débilmente metamorfoseadas, pizarras y cuarcitas (Jenks 1951; Mégard 1978). Sobreyaciendo estas unidades se encuentran rocas clásticas continentales del Grupo Ambo y carbonatos de los Grupos Tarma y Copacabana. Éstas están cubiertas por las rocas del Grupo Mitu y por encima, con una evidente discordancia erosiva, se encuentran las calizas y dolomías del Grupo Pucará (Figura 5) (Altman et al. 2017).

En este depósito se han identificado las tres formaciones del Grupo Pucará. La Formación Chambará es la que está mejor expuesta y la que aloja principalmente la mineralización. En cambio, las formaciones Aramachay y Condorsinga no alojan mineralizaciones económicas (Altman et al. 2017).

Los cuerpos minerales son mantos y algunas vetas mineralizadas de menor importancia económica. Los principales mantos son Resurgidora, Intermedio, San Luis, Pucará y Virgencita. La longitud promedio varía entre 50 y 400 m con un espesor promedio de 1.5 m. Los mantos Intermedio y Resurgidora pueden alcanzar hasta 3 y 4 km de longitud, respectivamente, con un espesor de hasta 18 m. La mena muestra diferentes texturas como: tipo cebra, reemplazamiento, brechas de colapso, brechas de mosaico y vetillas (Altman et al. 2017; Millán-Núñez 2020). La mena de este depósito está constituida por esfalerita y galena, y proporciones menores de pirita, marcasita y bravoíta (variedad níquelífera de pirita) (Altman et al. 2017; Millán-Núñez 2020). Los principales minerales de ganga son barita, dolomita, calcita, cuarzo y doloesparita. La ley promedio de la mineralización es de 4.9% Zn y 0.5% Pb (Altman et al. 2017).

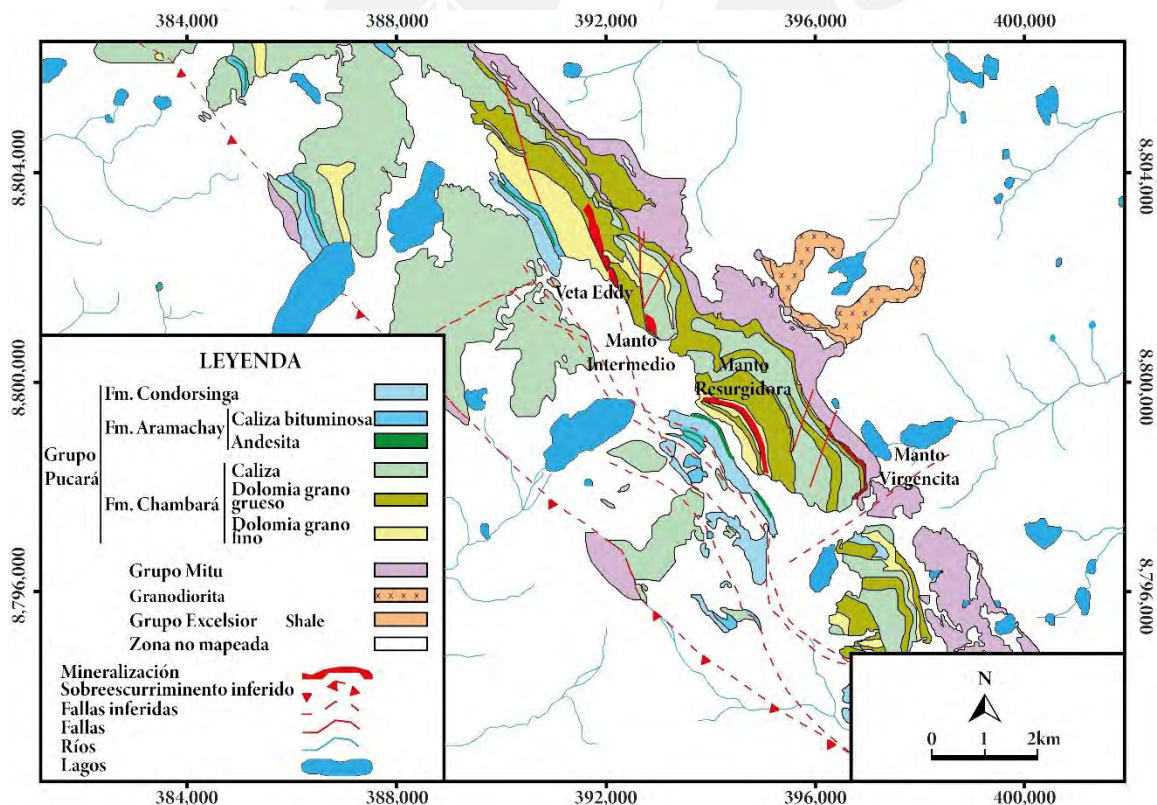


Figura 5: Mapa geológico del depósito Shalipayco. Modificado de Altman et al. (2017).

La roca de caja de los mantos Intermedio y Resurgidora son rocas carbonatadas con evidencias importantes de facies evaporíticas. El manto Intermedio contiene más vestigios de la presencia de evaporitas previas a la mineralización, así como de una extensa dolomía porosa

que probablemente sirvió como nivel permeable para hidrocarburos y azufre reducido, y dolomita de grano fino en facies sabkha, por encima del manto, que podría haber servido como trampa para hidrocarburos y gases que proporcionaron azufre reducido y ambiente reductor para la mineralización de sulfuros (Altman et al. 2017).

La mena dentro de los mantos Pucará y San Luis se encuentra en fracturas y en zonas ricas en materia orgánica dentro de caliza bituminosa. Estos mantos representan una parte menor de las reservas. En el manto Virgencita, la roca huésped mineralizada parece ser una brecha sedimentaria mal clasificada en la que la mineralización reemplazó fragmentos de carbonato y la matriz de la roca según Altman et al. (2017).

3.2.3. Geología del yacimiento de San Vicente

El yacimiento Zn-Pb de San Vicente está alojado en carbonatos del Grupo Pucará. La secuencia estratigráfica es similar a la descrita anteriormente e inicia con gneises y esquistos del basamento precámbrico o del Paleozoico Inferior conocido como Complejo Maraynioc, cubiertos por rocas del grupo Excelsior (Dávila et al. 2000). Por encima de estos materiales están los carbonatos de ambiente marino de los Grupos Tarma y Copacabana que sufrieron metamorfismo y erosión previa a la sedimentación del Grupo Mitu (Rosas et al. 2007; Spikings et al. 2016). Posteriormente, en el Triásico, intruyeron rocas plutónicas conocidas en la zona como granito San Ramón y granodiorita Tarma. Las rocas volcánicas y sedimentarias del Grupo Mitu sobreyacen discordantemente a las rocas del basamento metamórfico y, en algunas zonas, al granito San Ramón. Por encima, en discordancia con el Grupo Mitu se depositaron los carbonatos del Grupo Pucará sobre los que no se observan unidades más jóvenes debido a la fuerte erosión en la zona (Dávila et al. 2000; Carlotto et al. 2009). En esta zona, la Formación Chambará tiene espesores de entre 25 y 1180 m (Rosas et al. 2007) (Figura 6), la Formación

Aramachay, de entre 8 y 250 m, y la Formación Condorsinga, de entre 500 y 1200 m (Carlotto et al. 2009).

Los mantos mineralizados de la mina San Vicente se alojan en el flanco E de barras oolíticas dolomitizadas de desarrollo N-S, que podría haber representado una trampa para hidrocarburos por el cambio entre las facies San Vicente, de alta porosidad, a las facies Vilcapoma, de ambiente lagoon de escasa porosidad y permeabilidad. Las facies bituminosas (caliza Uncush) actuaron como sello en el proceso de mineralización (Dávila et al. 2000). San Judas, San Vicente (Formación Chambará) y Alfonso (Formación Condorsinga) son las tres unidades dolomíticas que albergan mena metálica, siendo la dolomía San Vicente la que alberga el cuerpo mineral principal de Zn-Pb debido a su alta porosidad (Fontboté y Gorzawski 1990; Spangenberg et al. 1999; Dávila et al. 2000; Badoux et al. 2001). Tres tipos principales de texturas están presentes en la mina San Vicente: textura cebrá, brecha con clastos de dolomita oscura de reemplazo en una matriz de dolomita esparítica blanca (WSD; *white sparry dolomite*) y venas rellenas de dolomita esparítica blanca (Fontboté y Gorzawski 1990; Badoux et al. 2001).

La mena de este depósito está constituida por esfalerita, galena y trazas de pirita-marcasita, calcopirita y sulfosales y la ley promedio de la mineralización es de 9.21% Zn y 0.74% Pb. La ganga está constituida por dolomita y, en cantidades mucho menores, calcita (Dávila et al. 2000; Carlotto et al. 2009; SIMSA 2019). La secuencia paragenética está constituida por pirita fina masiva, esfalerita gris fina masiva asociada a dolomita de reemplazamiento temprana, esfalerita parda asociada a dolomita blanca, galena fina asociada a dolomita de relleno de etapa tardía, esfalerita amarilla gruesa asociada a dolomita blanca y pirita sub a idiomórfica (Fontboté y Gorzawski 1990; Dávila et al. 2000; Badoux et al. 2001).

La alteración principal observada en el depósito San Vicente es la dolomitización y, en menor medida, silicificación (Dávila et al. 2000; Badoux et al. 2001).

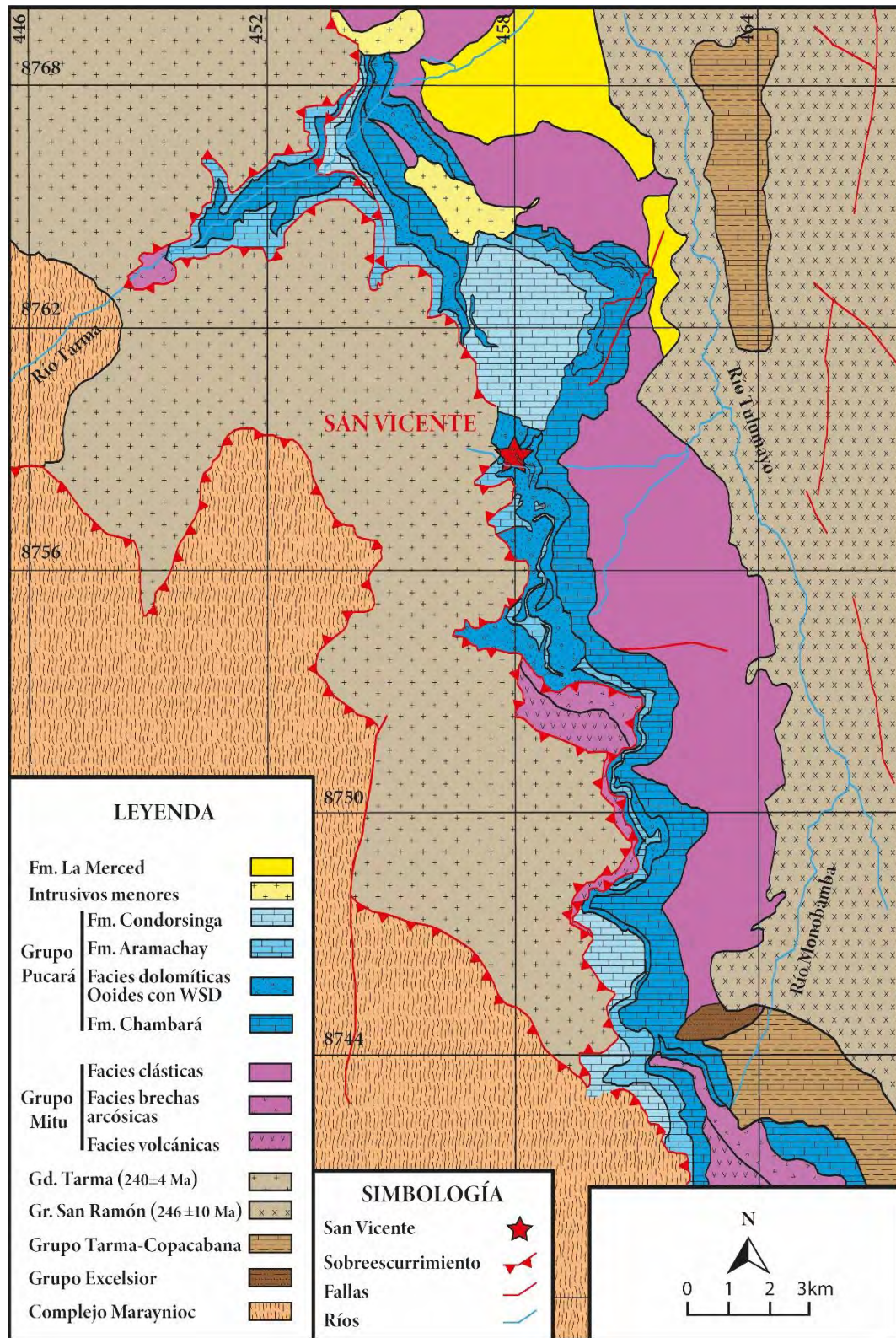


Figura 6: Mapa geológico del depósito San Vicente. Fm.: Formación, WSD: White sparry dolomite, Gd.: Granodiorita, Gr.: Granito. Modificado de Dávila et al. (2000).

4. Resultados

4.1. Mineralogía y texturas del yacimiento de San Vicente

En el depósito de San Vicente, la esfalerita es el sulfuro más abundante y económicamente importante. Además de esfalerita, la asociación de minerales metálicos incluye proporciones mucho menores de galena, marcasita y pirita. La mineralogía no metálica está conformada principalmente por dolomita y, en menor proporción, calcita.

Las principales texturas en las muestras de mena de San Vicente incluyen i) tipo “cebra”, constituida por bandas de hasta 0.6 cm de ancho de carbonatos y esfalerita intercaladas entre sí de forma más o menos rítmica (Figura 7A); ii) bandeado coloforme simple (es decir, no rítmico) de carbonatos y esfalerita (Figuras 7B, I); iii) brechas de colapso con clastos de carbonatos y esfalerita (Figuras 7J-K); iv) reemplazamiento entre los distintos tipos de esfalerita y los carbonatos (Figuras 7D-H); v) “*snow-on-the-roof*”, es decir, sulfuros que recubren la parte superior de cristales o clastos de brechas (Figura 7I); y vi) combinaciones de las anteriores (e.g., textura brechada con clastos de sobrecrecimientos coloformes de esfalerita y carbonatos; Figuras 7C, H-I).

Se han podido diferenciar 3 generaciones de carbonatos que por su cronología relativa coinciden con las generaciones descritas por Badoux et al. (2001). La primera es una dolomita negra de reemplazamiento (dol 1; Figuras 7C-D, F-G, J-K); la segunda y más abundante es una dolomita blanca grisácea (dol 2; Figuras 7A-D, H-K y 8A-B); y la tercera, es una dolomita blanca (dol 3) que rellena espacios abiertos (Figuras 7E-F y 8A-L) y a veces se puede presentar acompañada de calcita (Figura 7A-D).

La esfalerita forma granos de tamaño micrométrico a milimétrico (de hasta 1 mm) con superficies generalmente limpias y ocasionalmente con presencia de inclusiones, diseminaciones y reemplazamiento por galena, pirita y marcasita. La esfalerita en este

yacimiento presenta una variación espectacular de colores a escala de muestra de mano e incluso a escala de cristal individual. Se han identificado hasta 7 tipos de esfalerita tomando en cuenta su color (a menudo plasmado en el color de los reflejos internos bajo el microscopio) y las relaciones texturales entre ellas y con el resto de los sulfuros:

- Esfalerita 1: forma agregados de cristales subhedrales de tamaño milimétrico de color negro, con bordes rectilíneos y ausencia de reflejos internos (Figura 8A-D). Se localiza en la parte central de las bandas de esfalerita con textura tipo “cebra” (Figura 7A), así como en el núcleo del bandeo colorme (Figuras 7B-C). En algunos casos, se encuentra en contacto o reemplazando dolomita 1.
- Esfalerita 2: se presenta en forma de granos subhedrales con reflejos internos de color marrón rojizo en sus centros y gradando a tonalidades más claras hacia los bordes (Figuras 8C-F). Ha crecido sobre, y ha reemplazado (por sectores) a, granos de esfalerita 1, específicamente, en la textura cebra y en las bandas colormes (Figura 7B-C). Además, ha sido reemplazada por esfalerita 3, resultando en una marcada gradación de colores (Figura 7C, I). Esta esfalerita ha sido sobrecrecida (Figuras 7C, H) y reemplazada por galena a partir de microfracturas, bordes e intersticios.
- Esfalerita 3: Se presenta como agregados anhedrales-subhedrales con reflejos internos de color marrón amarillento (Figuras 8C-F). Es la esfalerita más abundante entre las muestras estudiadas, generalmente reemplaza a esfalerita 1 y 2 y, localmente, es reemplazada o se encuentra en contacto con la esfalerita 4. Aparece en los bordes de las bandas de tipo “cebra” (Figura 7A) y del bandeo colorme (Figura 7B-C, I), generalmente en contacto con dolomita 2, además de, en los clastos de brecha (Figura 7H).

- Esfalerita 4: forma agregados de cristales subhedrales de tamaño milimétrico con reflejos internos de color amarillo parduzco (Figura 8C-F) y es menos abundante respecto a la esfalerita 1 a 3. Ha crecido epitaxialmente y reemplazado a la esfalerita 3, en el bandeado coloforme (Figura 7I) y en los clastos de brecha (Figura 7H). Ambas presentan textura tipo “*snow-on-the-roof*” (Figura 7I). La esfalerita 4 ha sido reemplazada por galena y dolomita 2.
- Esfalerita 5: forma cristales anhedrales-subhedrales de tamaño milimétrico y presenta reflejos internos de color naranja (Figuras 8G-H, K-L). Ha crecido sobre la esfalerita 2 y 3 (Figura 7E), ha reemplazado a la dolomita 1 (Figura 7F) y presenta sobrecrecimiento por esfalerita 6 y 7 (Figuras 8G-H, K-L). La presencia de esta esfalerita es relativamente local.
- Esfalerita 6: forma agregados subhedrales de tamaño micrométrico caracterizados por presentar reflejos internos de color amarillo, que varían entre tonalidades intensas (Figuras 8I-J) y claras (Figuras 8G-H, K-L). Esta esfalerita reemplaza a la esfalerita 5 (Figura 7F) y ha crecido de forma pasiva sobre sus bordes, así como en sus intersticios (Figuras 8G-L). Además, ha reemplazado a la dolomita 1 (Figura 7G).
- Esfalerita 7: se presenta en forma de agregados de cristales anhedrales micrométricos con reflejos internos de color blanco (Figuras 8K-L). Es la esfalerita más tardía y generalmente ha cristalizado junto con la esfalerita 6 (Figuras 7G y 8K-L). Ocasionalmente también se presenta junto o sobre esfalerita 1 (Figura 8A-B). Adicionalmente, la esfalerita 7 ha cortado en forma de venillas a las dolomitas 1 y 2 (Figura 7K).

Se han identificado tres tipos texturales de pirita que podrían corresponder a tres generaciones diferentes de este mineral: i) la primera generación (pirita 1) se presenta como

finas disseminaciones en esfalerita 1 a 4, que en algunos casos están orientadas según las direcciones cristalográficas de esfalerita (Figura 8A, C, E); ii) la segunda generación (pirita 2) ha pseudomorfozido a cristales de marcasita y por este motivo se presenta en forma de cristales subhedrales-euhedrales prismáticos; se encuentra en matriz de dolomita 1 (Figura 7J) y; (iii) la tercera generación (pirita 3) se presenta en forma de cristales subhedrales-euhedrales que han cristalizado en fracturas y oquedades de esfalerita 1 a 4 (Figuras 8C, I).

Adicionalmente, se ha identificado galena i) con hábito ligeramente dendrítico (Figuras 7C, J), ii) en forma de cristales subhedrales en dolomita 2 (Figuras 7H, J), iii) en crecimientos epitaxiales sobre esfalerita 2 (Figuras 7C, H y 8E-F), y iv) en finas venillas que cortan a la dolomita 2 (Figura 7H).



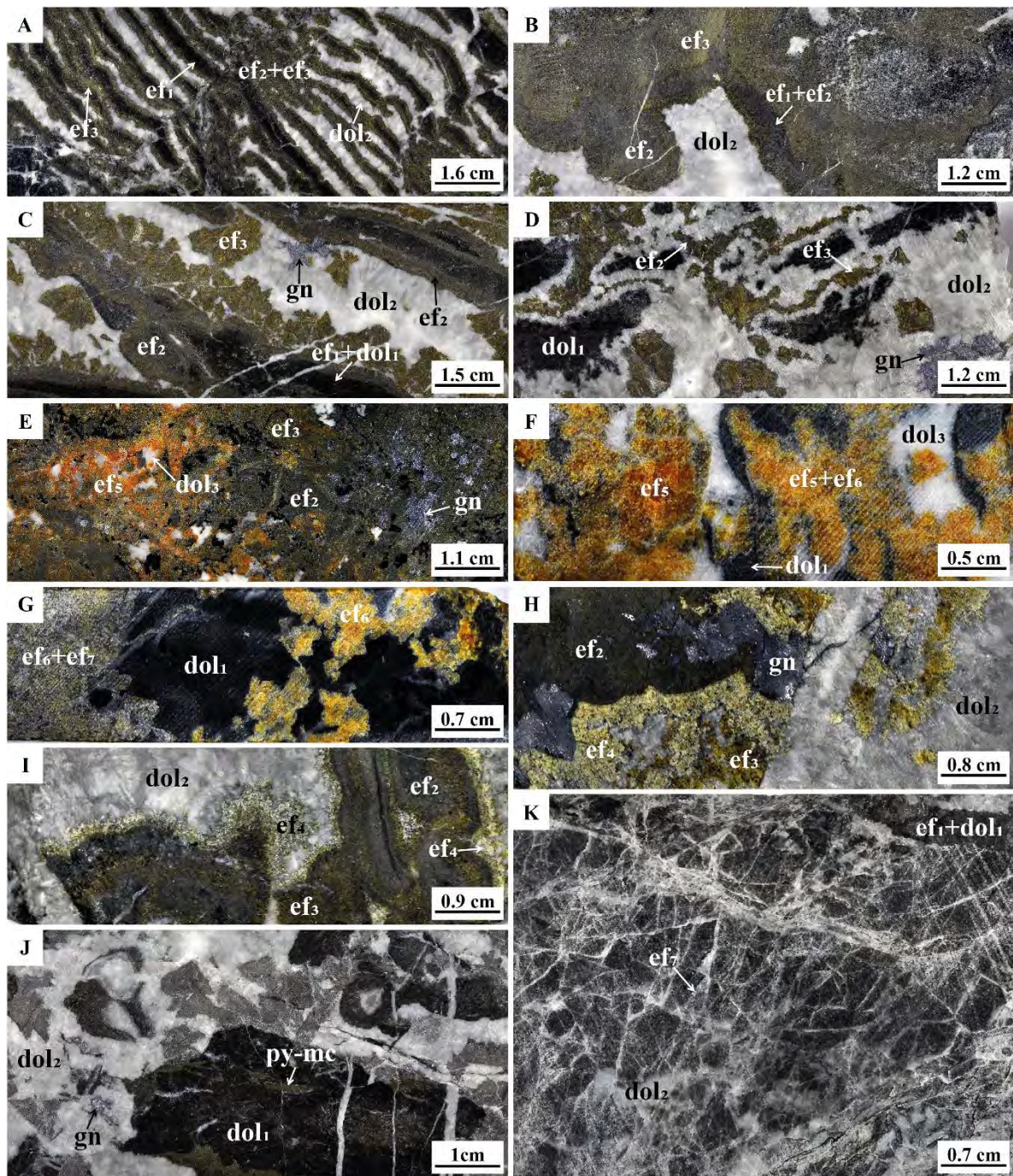


Figura 7: Fotografías de muestras de mano con mineralización de esfalerita en el depósito de San Vicente. A) Roca con textura tipo “cebra”, conformada por bandas de esfalerita 1, 2 y 3. Las bandas de color blanco grisáceo corresponden a dolomita 2, las cuales cortan ocasionalmente y dislocan a las bandas de esfalerita (muestra 2019-SV-02). B) Crecimiento coloforme con bandas de esfalerita (esfalerita 1, 2 y 3) y relleno central de dolomita 2, esta última también corta localmente las bandas de esfalerita en forma de venillas sub-milimétricas (muestra 2019-SV-04). C) Brecha con bandeado coloforme de dolomita 1 y esfalerita 1, 2 y 3, cementada por una matriz de dolomita 2. Finas venillas de dolomita 2 cortan los clastos; nótese el crecimiento de galena perpendicularmente al sustrato de esfalerita 2 indicando dirección de crecimiento hacia el centro de un espacio abierto rellenado por dolomita 2 (muestra 2019-SV-11). D) Relleno coloforme irregular de dolomita 1 y 2, agregados de esfalerita 2 y 3, y galena; la rotación de las bandas y su interrupción lateral brusca por dolomita 2 indican posible brechificación durante su cristalización (muestra 2019-SV-12). E) Agregados de esfalerita 2 y 3 sobrecrecidos por esfalerita 5, que ocupa espacio intersticial junto con galena y dolomita 3 (muestra 2019-SV-15). F) Reemplazamiento de clastos de dolomita 1 en brecha pre-mineralización por esfalerita 5-6, con cemento de dolomita 3 (muestra 2019-SV-13). G) Clastos de dolomita 1 reemplazados por esfalerita 6-7 (muestra 2019-SV-14). H) Brecha con clastos que muestran bandeado interno coloforme incluyendo esfalerita 2 sobrecrecida por esfalerita 3, esfalerita 4 y galena cementados por dolomita 2; vetillas de galena cortan, a su vez, el relleno de dolomita 2 (muestra 2019-SV-

01). I) Brecha con clastos compuestos por crecimientos bandeados coliformes de esfalerita 2 y 3 sobrecrecidos por esfalerita 4 con texturas “snow-on-the-roof”; los clastos están rotados y cementados por dolomita 2 (muestra 2019-SV-03). J) Brecha con clastos de dolomita 1 parcialmente reemplazados por pirita-marcasita. Estos clastos están cementados por dolomita 2 que también contiene galena con crecimientos dendríticos y secciones de cristales cúbicos (muestra 2019-SV-10). K) Entramado de finas venillas de esfalerita 7 (color plateado muy claro) y dolomita 2 cortando esfalerita 1 y dolomita 1; nótese que las vetillas de esfalerita 7 cortan todo el ensamble (muestra 2019-SV-05). Abreviaturas: cbs: carbonatos; ef: esfalerita; gn: galena; py: pirita.

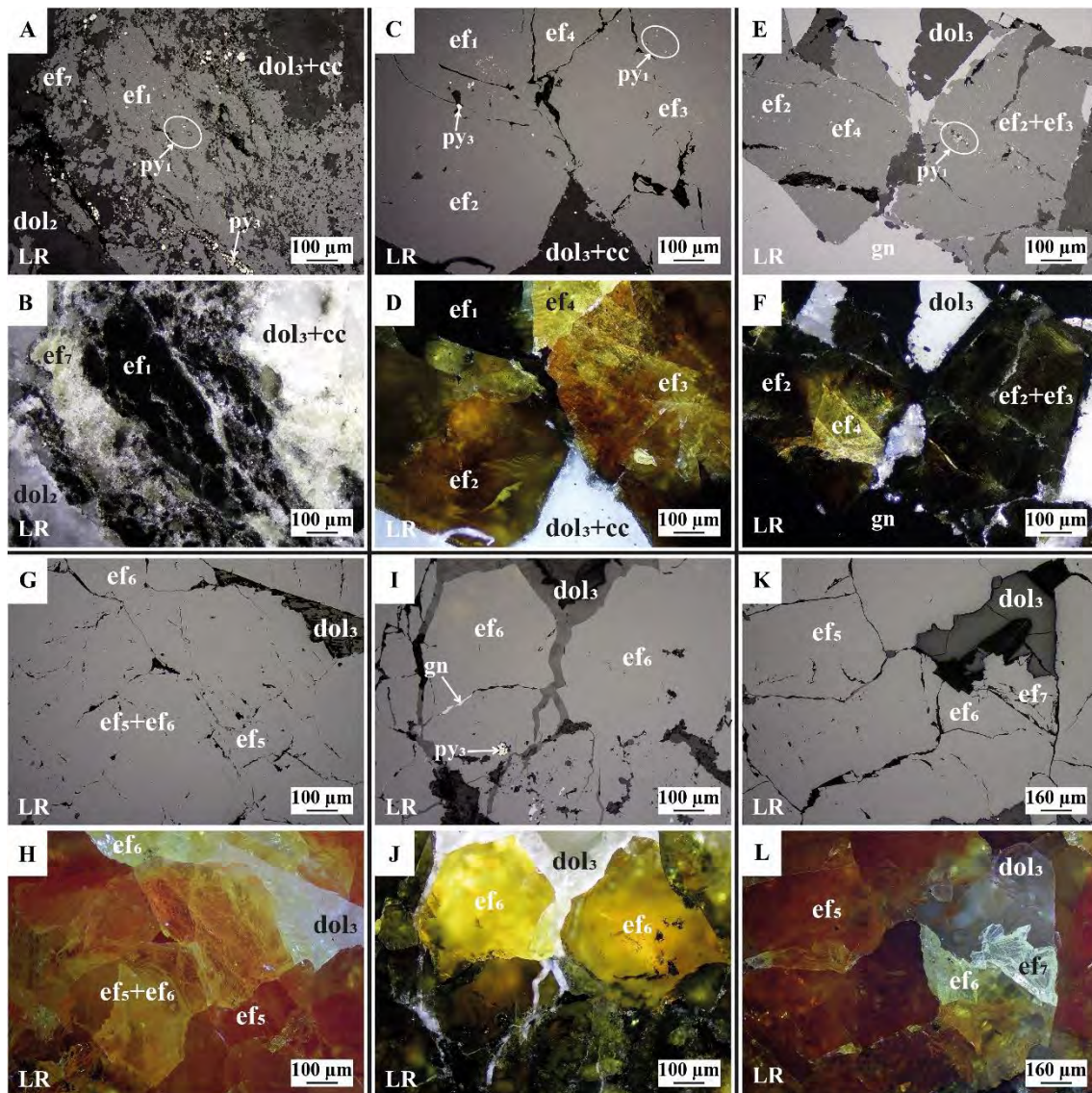


Figura 8: Microfotografías de secciones pulidas tomadas con luz reflejada sin analizador (A, C, E, G, I y K) y en nicols cruzados (B, D, F, H, J y L) que muestran detalles texturales de la mineralización del depósito de San Vicente. A-B) Agregados de cristales anhedral de esfalerita 1 en matriz de dolomita 2, que han sido reemplazados por esfalerita 7, dolomita 3 y calcita. Además, se observa pirita 1 diseminada por todo el conjunto y pirita 3 en bordes, oquedades y fracturas. C-D) Agregado de cristales de esfalerita 1 y esfalerita 2 reemplazados por esfalerita 3 y esfalerita 4. El conjunto ha sido reemplazado por dolomita 3 y calcita a partir de bordes e intersticios. Pirita 1 diseminada en todo el conjunto y pirita 3 rellenando oquedades. E-F) Detalle de agregado de esfalerita 2 y esfalerita 3 reemplazado por esfalerita 4 y galena. El conjunto ha sido reemplazado y sobrecrecido por dolomita 3. Pirita 1 diseminada por todo el conjunto. G-H) Agregados de esfalerita 5 sobrecrecido por esfalerita 6, y dolomita 3 como relleno de espacios abiertos. I-J) Cristales de esfalerita 6, con microfracturas y porosidades rellenas por galena, y cortados por venillas de dolomita 3, que también aparece como crecimiento epitaxial sobre esfalerita 6. K-L) Agregados de cristales subhedral y anhedral de esfalerita 5 sobrecrecidos por esfalerita 6, y ambas sobrecrecidas por esfalerita 7. Abreviaturas: cbs: carbonatos; ef: esfalerita; gn: galena; mc: marcasita; py: pirita; LR: fotos tomadas con luz reflejada.

A partir de los minerales descritos y sus texturas se propone la secuencia paragenética mostrada en la Figura 9.

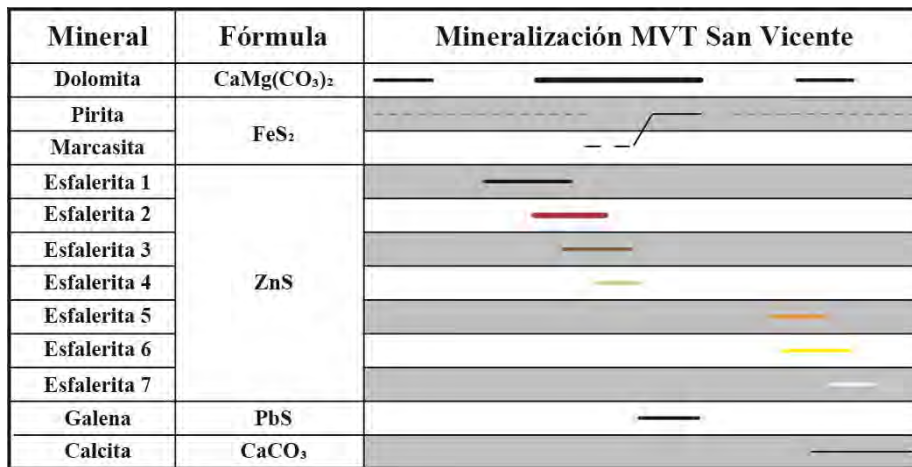


Figura 9: Secuencia paragenética de las muestras estudiadas del depósito San Vicente. El grosor de las barras indica la abundancia relativa de los diferentes minerales o sus generaciones. El color de las barras correspondientes a las generaciones de esfalerita se aproxima al color que muestran los respectivos granos de esfalerita en muestra de mano.

4.2. Geoquímica de la esfalerita

El número de análisis realizados por cada método (EPMA y LA-ICP-MS) en cada tipo/generación de esfalerita es detallado en la Tabla 2.

Tabla 2: Número de análisis realizados en las diversas generaciones/tipos texturales de esfalerita identificados en las muestras de San Vicente y Shalipayco.

Depósito	Esfalerita	Cantidad de análisis	
		LA-ICP-MS	EPMA
San Vicente	ef ₁ -SV	35	34
	ef ₂ -SV	27	23
	ef ₃ -SV	56	54
	ef ₄ -SV	17	16
	ef ₅ -SV	15	9
	ef ₆ -SV	19	11
	ef ₇ -SV	5	1
Shalipayco	ef ₂ -SH	13	
	ef ₃ -SH	30	
	ef ₄ -SH	7	
Total		224	148

4.2.1. Resultados de EPMA

Los análisis de EPMA muestran que el Fe tiene concentraciones por encima del límite de detección en las 6 primeras generaciones/tipos de esfalerita del depósito de San Vicente. Los valores mínimos, máximos, promedios, medianas y RIC (rangos intercuartiles) se encuentran resumidos en la Tabla 3. Las mayores concentraciones de Fe se encuentran en la esfalerita 1 (RIC= 3.20-1.63 wt. %; hasta 4.70 wt. %), en la esfalerita 2 (RIC= 2.89-1.54 wt. %; hasta 4.16 wt. %), en la esfalerita 3 (RIC= 2.30-1.21 wt. %; hasta 6.77 wt. %) y en la esfalerita 4 (RIC= 1.71-1.08 wt. %) con concentraciones de hasta 2.90 wt. %. La esfalerita 5 puede llegar a tener concentraciones altas (hasta 3.33 wt. %), pero sus concentraciones mínimas están por debajo de su límite de detección (<D.L.; DL = 0.05 wt. %). Los cristales de esfalerita 6 (RIC= 0.03-0.01 wt. %) y esfalerita 7 (<D.L.) son los que tienen las menores concentraciones de Fe. No se obtuvieron datos de EPMA en esfalerita de Shalipayco. Las concentraciones (expresadas en átomos por fórmula unidad [a.p.f.u.]) de Fe y Zn en los cristales de esfalerita de San Vicente describen una marcada correlación negativa (Figura 10), lo que evidenciaría una sustitución directa $Zn^{2+} \leftrightarrow Fe^{2+}$.

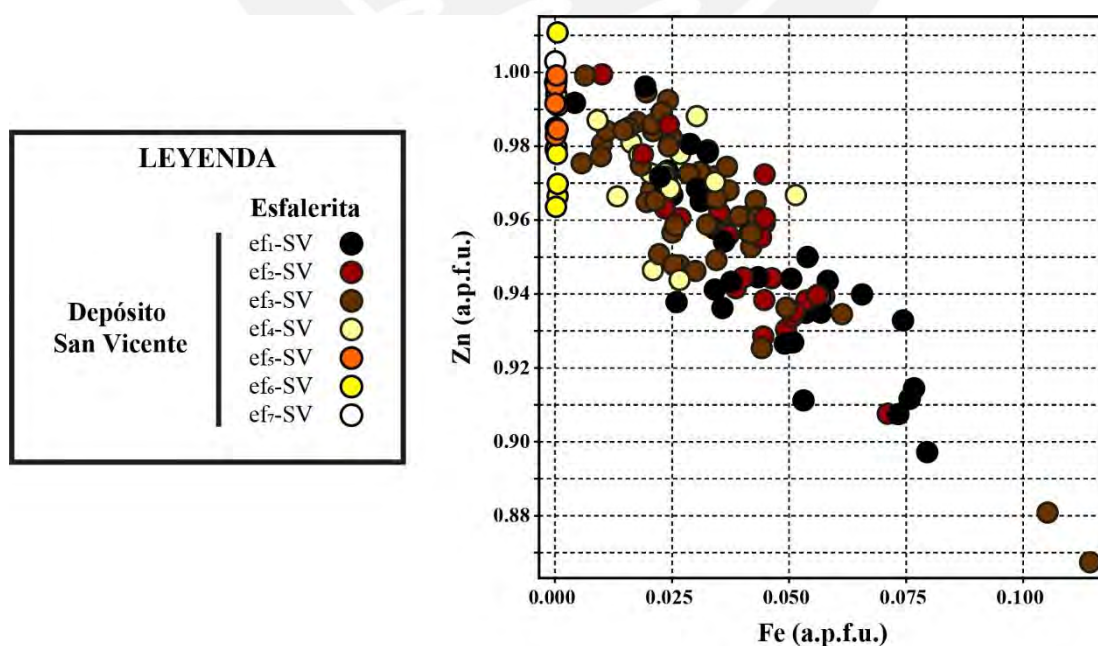


Figura 10: Diagrama binario de correlación Fe:Zn en átomos por fórmula unidad (a.p.f.u.) de los 7 tipos de esfalerita identificados en el depósito de San Vicente.

4.2.2. Resultados de LA-ICP-MS

Un resumen de las concentraciones elementales obtenidas mediante LA-ICP-MS para esfalerita de San Vicente y Shalipayco es presentado en la Tabla 3. Además, la Figura 11 presenta diagramas de cajas y bigotes con las concentraciones de varios elementos para cada tipo/generación de esfalerita de ambos depósitos.

Las mayores concentraciones de Fe fueron analizadas en esfalerita 1 (RIC = 26 178-14 889 ppm, hasta 43 271 ppm) y esfalerita 2 (RIC= 22 527-12 757 ppm, hasta 32 945 ppm) de San Vicente; y en esfalerita 2 (RIC= 19 301-672 ppm, hasta 37 888 ppm) de Shalipayco. Las concentraciones más bajas se encontraron en esfalerita 4 (RIC=786-486 ppm, hasta 882) de Shalipayco y en esfalerita 6 (RIC= 90-27 ppm, hasta 122 ppm) y esfalerita 7 (<D.L.) de San Vicente. Cabe resaltar que las concentraciones de Fe medidas mediante LA-ICP-MS se encuentran en el mismo orden de magnitud que las medidas mediante EPMA (Tabla 3).

Las concentraciones más elevadas de Mn se registraron en esfalerita 7 (RIC= 540-327 ppm, hasta 593 ppm) y en esfalerita 5 (RIC= 524-187 ppm, hasta 683 ppm) de San Vicente. Los valores mínimos de Mn se registraron en esfalerita 3 (RIC= 6.9-1.9 ppm) y esfalerita 4 (valor único= 3.2 ppm) de Shalipayco. Las concentraciones de Cu son muy variables entre tipos de esfalerita, con valores máximos de hasta 5090 ppm en esfalerita 2 de Shalipayco (RIC= 5090-442 ppm) y de hasta 2084 ppm en esfalerita 5 de San Vicente (RIC=1583-311 ppm); los valores más bajos de Cu se registraron en esfalerita 1 (RIC=7.8-4.8 ppm) y esfalerita 2 (RIC=6.2-4.3 ppm) de San Vicente. La concentración de As es relativamente uniforme entre todos los tipos de esfalerita analizados, con valores ligeramente más altos en esfalerita 2 (RIC= 36.5-6.5 ppm, hasta 896 ppm) y esfalerita 3 (RIC=29.6-7.6 ppm) de Shalipayco, y en esfalerita 2 (RIC=25.9-8.7 ppm) de San Vicente, y valores más bajos en esfalerita 7 de San Vicente (RIC= 4.4-3.8 ppm). Las concentraciones de Ag tienen una variabilidad notable entre los tipos

de esfalerita analizados. La concentración mayor, de hasta 3029 ppm, fue registrada en esfalerita 5 (RIC= 1335-43 ppm) de San Vicente, seguida de concentraciones un poco más bajas en esfalerita 4 (RIC= 604-274 ppm, hasta 1469 ppm) y en esfalerita 3 (RIC= 550-58 ppm, hasta 1600 ppm) de Shalipayco; las concentraciones mínimas de Ag se hallaron en esfalerita 2 de San Vicente (RIC= 6.7-2.7 ppm). Las mayores y menores concentraciones de Cd se presentan en esfalerita 5 (RIC= 7180-3888 ppm, hasta 8253 ppm) y en esfalerita 4 (RIC= 735-40 ppm, desde 22 ppm), respectivamente, de San Vicente. En cuanto al Sb, las concentraciones más elevadas fueron halladas en esfalerita 2 de Shalipayco (RIC= 166-9 ppm, hasta 2238 ppm) y las más bajas en esfalerita 7 de San Vicente (sistemáticamente <D.L.).

Otros elementos analizados que por lo general presentan concentraciones más bajas a las descritas incluyen Co, Se, Mo, Sn y Hg. El Co presenta concentraciones mayores en esfalerita 3 de Shalipayco (RIC= 26-13 ppm). Las concentraciones más elevadas de Se fueron analizadas en esfalerita 1 de San Vicente (RIC= 1.7-1.0 ppm). El Mo presenta valores mayores en esfalerita 7 de San Vicente (RIC= 0.21-0.04 ppm). Los contenidos más elevados de Sn fueron hallados en esfalerita 5 (RIC= 4.30-0.31 ppm) de San Vicente, y los de Tl, en esfalerita 6 (RIC=8.3-1.6 ppm) de este mismo depósito. En el caso del Hg, este presenta los contenidos más elevados en esfalerita 2 de Shalipayco (RIC= 507-46 ppm).

Se encontraron concentraciones importantes de elementos críticos en esfalerita de ambos depósitos. Las concentraciones máximas de Ga fueron analizadas en esfalerita 5 (RIC= 200-5 ppm, hasta 997 ppm) y en esfalerita 7 (RIC= 183-93 ppm, hasta 195 ppm) de San Vicente. El Ge se presenta concentrado principalmente en esfalerita 5 de San Vicente (RIC= 1207-39 ppm, hasta 1861 ppm) y en esfalerita 3 de Shalipayco (RIC= 510-56 ppm, hasta 966 ppm). Con concentraciones significativamente menores a las de Ga y Ge, los contenidos de In más

elevados fueron analizados en esfalerita 5 (RIC= 8.2-0.5 ppm, hasta 18 ppm) y en esfalerita 7 (RIC=5.4-3.8 ppm, hasta 5.8 ppm) de San Vicente.

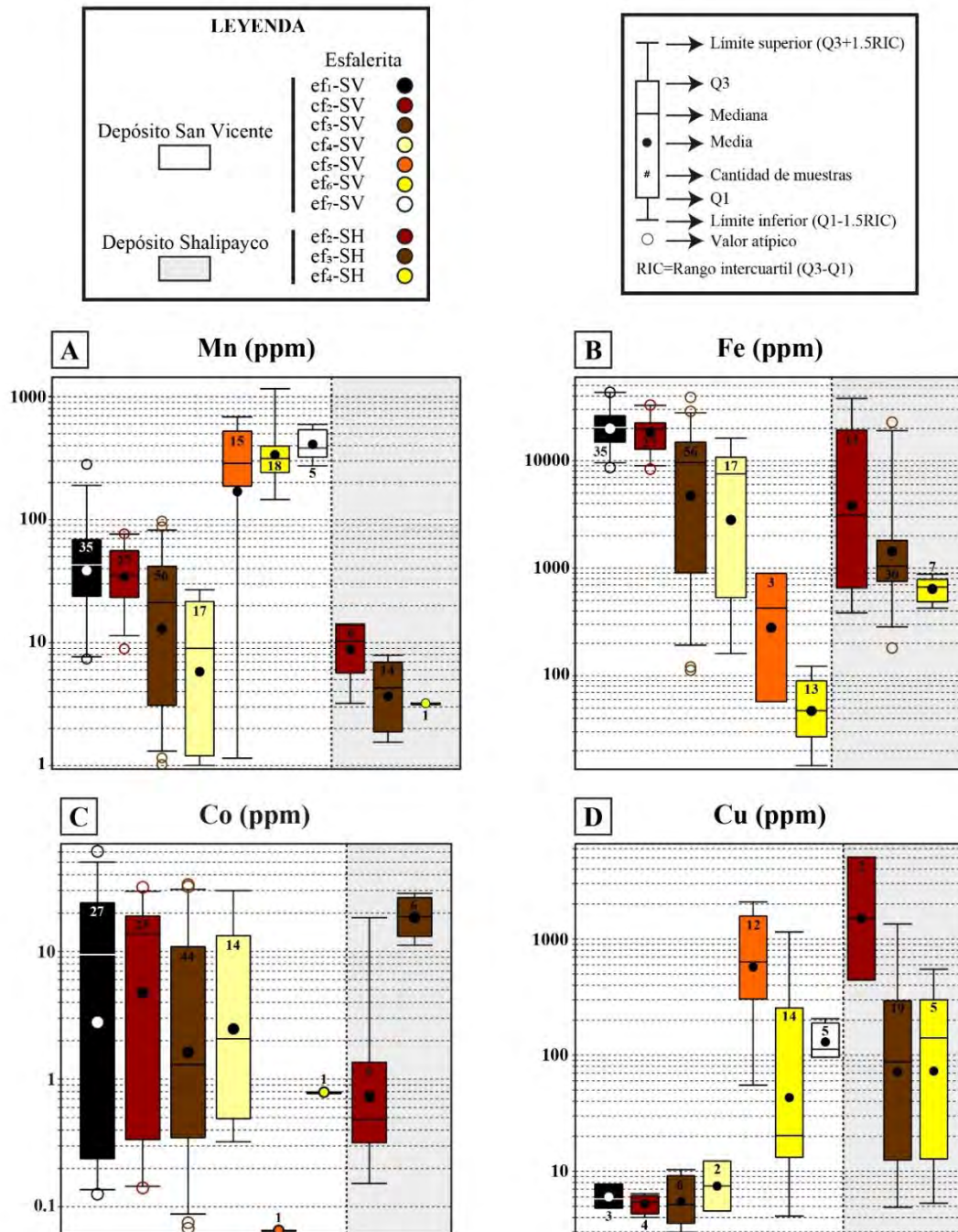


Figura 11: Box plots de elementos analizados por LA-ICP-MS en los 7 tipos/generaciones de esfalerita del depósito San Vicente y en 3 de los 5 tipos/generaciones de esfalerita del depósito Shalipayco.

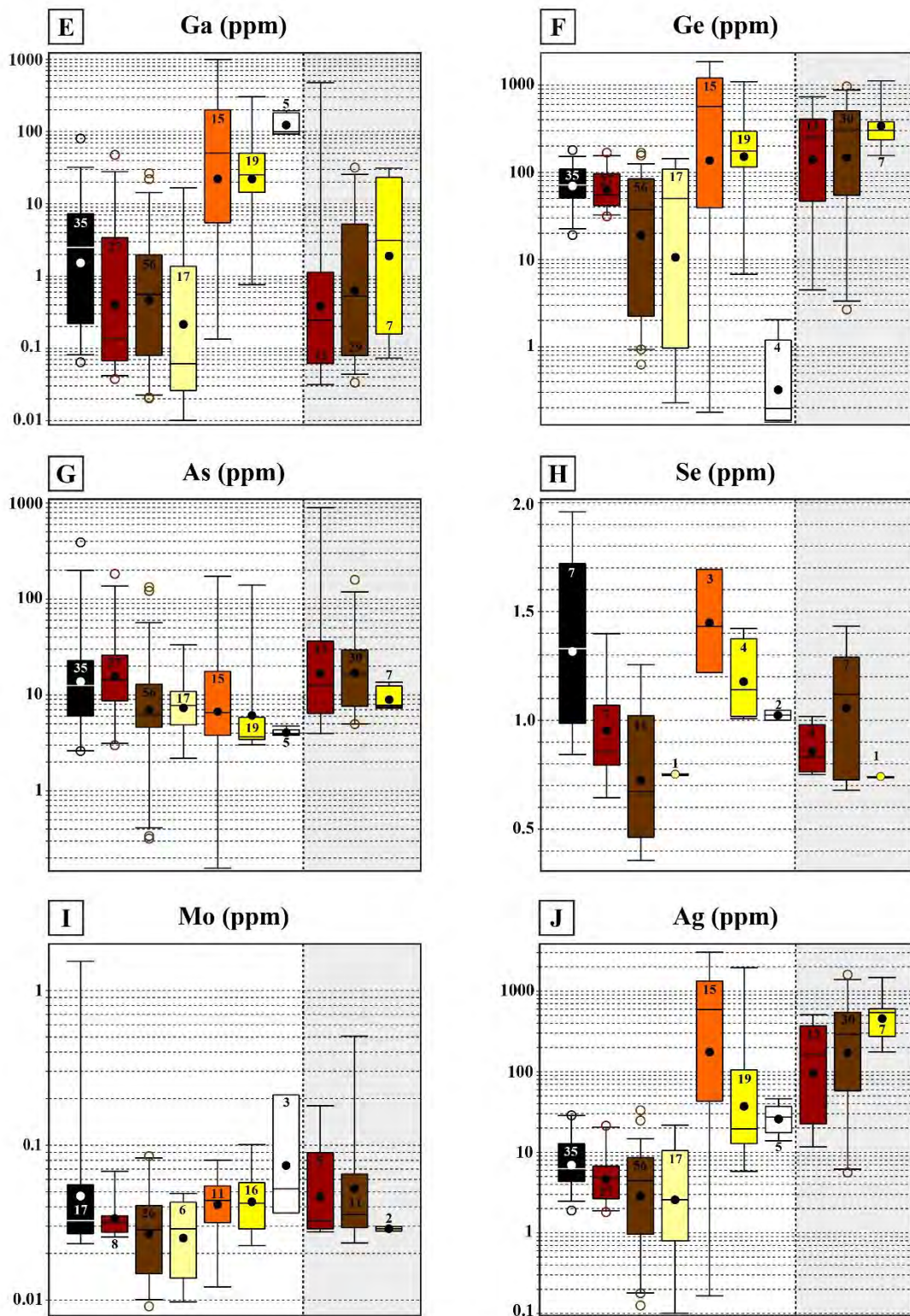


Figura 11: Continuación.

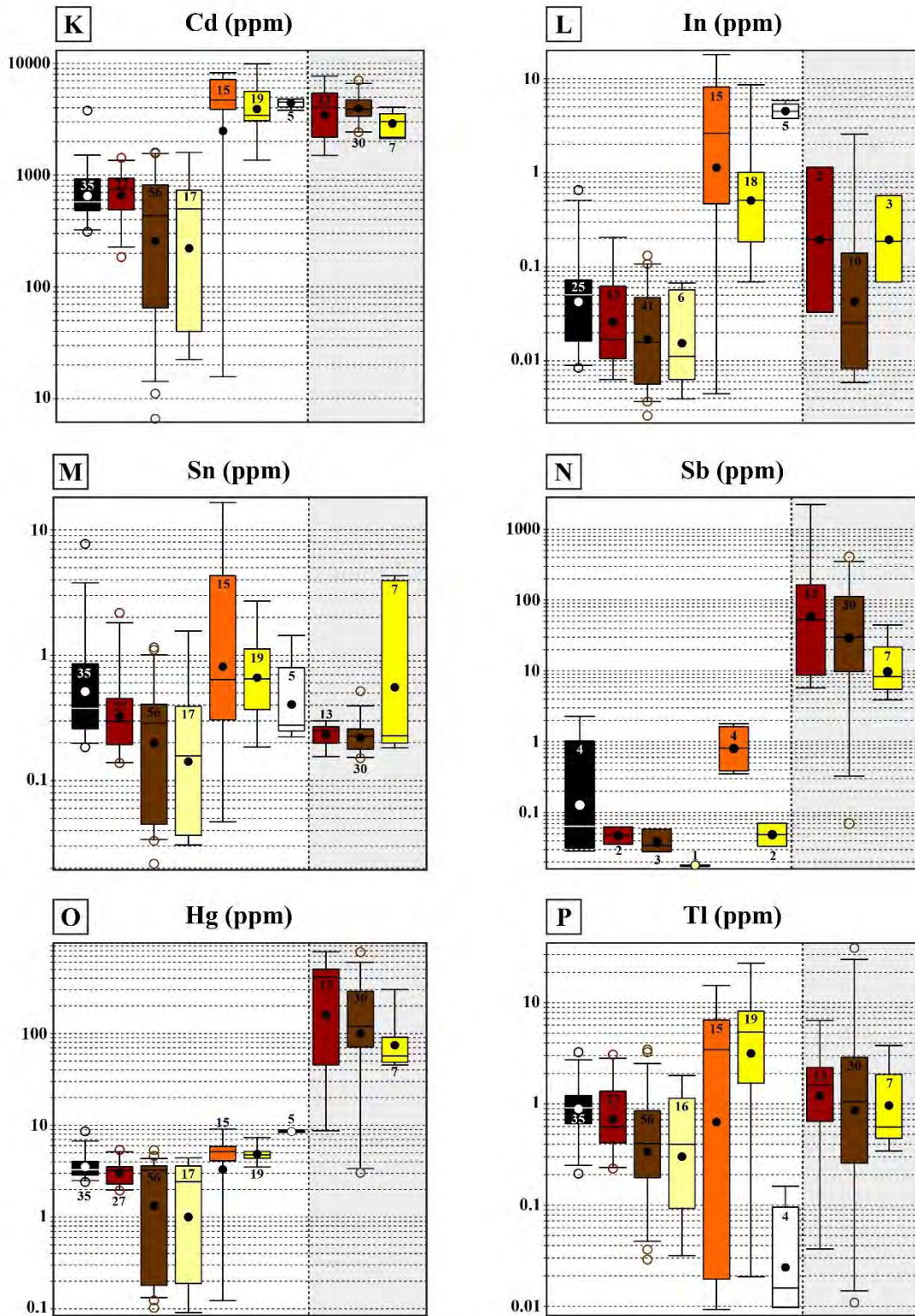


Figura 11: Continuación.

Tabla 3: Tabla resumen con los datos estadísticos de los análisis realizados mediante EPMA (en wt.%) y LA-ICP-MS (en ppm) en esfalerita de los depósitos San Vicente y Shalipayco.

DEPÓSITO	ESFALERITA	ELEMENTOS																		
		Zn (wt%)	Fe (wt%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Co (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Se (ppm)	Cd (ppm)	Ga (ppm)	Ge (ppm)	Mo (ppm)	Tl (ppm)	Sn (ppm)	In (ppm)	Sb (ppm)	
SAN VICENTE	ef1-SV	Mínimo	61.72	0.25	8632	7.4	4.8	1.9	0.13	2.61	2.41	0.84	311.17	0.064	19.068	0.023	0.205	0.185	0.008	0.029
		Máximo	67.53	4.70	43271	281.3	7.8	28.8	60.86	389.25	8.59	1.96	3784.19	80.247	179.677	1.542	3.247	7.717	0.655	2.273
		Promedio	64.40	2.50	21682	52.8	6.1	9.0	13.92	32.17	3.66	1.32	751.71	6.805	78.224	0.130	1.070	0.877	0.087	0.610
		Mediana	64.32	2.13	20395	42.8	5.8	6.3	9.47	12.54	3.28	1.33	576.31	2.501	71.465	0.032	0.915	0.376	0.051	0.069
		RIC	65.47-63.57	3.2-1.63	26178-14889	68.8-23.9	7.8-4.8	12.8-4.3	24.03-0.24	22.74-6.02	4.02-2.87	1.72-0.99	925.13-484.25	7.27-0.22	108.84-50.745	0.057-0.027	1.211-0.639	0.855-0.259	0.073-0.016	1.728-0.032
	ef2-SV	Mínimo	62.19	0.58	8342	8.9	4.0	1.8	0.14	2.99	1.94	0.64	184.98	0.038	31.273	0.026	0.230	0.138	0.006	0.036
		Máximo	67.10	4.16	32945	76.6	6.4	21.3	31.79	182.84	5.40	1.40	1429.58	47.617	167.728	0.068	3.075	2.175	0.207	0.063
		Promedio	64.65	2.29	19531	39.3	5.3	6.0	12.20	25.96	3.17	0.95	726.96	3.444	71.137	0.035	0.909	0.429	0.049	0.049
		Mediana	64.21	2.56	19687	34.9	5.4	4.9	13.76	14.34	3.22	0.85	745.93	0.136	54.478	0.032	0.589	0.296	0.017	0.049
		RIC	65.51-63.79	2.89-1.54	22527-12757	55.9-23.3	6.2-4.3	6.7-2.7	18.94-0.34	25.92-8.67	3.55-2.3	1.07-0.79	939.23-487.17	3.395-0.068	96.254-41.538	0.035-0.027	1.338-0.411	0.451-0.194	0.066-0.011	0.063-0.036
	ef3-SV	Mínimo	60.16	0.33	112	1.0	3.0	0.1	0.07	0.32	0.10	0.36	6.60	0.020	0.625	0.009	0.029	0.022	0.003	0.028
		Máximo	67.30	6.77	38867	97.2	10.3	33.2	33.41	133.25	5.37	1.26	1603.13	26.494	166.918	0.085	3.449	1.154	0.132	0.059
		Promedio	65.11	1.88	9673	25.1	6.1	5.6	6.45	13.46	2.46	0.73	495.64	2.606	46.941	0.032	0.616	0.329	0.030	0.040
		Mediana	65.29	1.69	9598	21.2	5.4	4.5	1.35	6.25	3.24	0.67	431.94	0.566	37.356	0.029	0.406	0.286	0.016	0.034
		RIC	66.08-64.31	2.3-1.21	14899-908	41.9-3.1	9.2-3.6	8.6-1	11.94-0.35	12.96-4.61	3.62-0.18	1.02-0.46	819.74-64.87	1.961-0.08	83.968-2.237	0.041-0.015	0.857-0.187	0.406-0.045	0.047-0.006	0.059-0.028
	ef4-SV	Mínimo	63.82	0.53	161	1.0	4.5	0.1	0.32	2.19	0.09	0.75	22.27	0.010	0.227	0.010	0.032	0.031	0.004	0.018
		Máximo	67.19	2.90	16235	26.9	12.3	21.7	29.99	33.38	4.40	0.75	1597.57	16.619	143.985	0.049	1.917	1.561	0.067	0.018
		Promedio	65.70	1.48	6372	11.2	8.4	6.5	6.48	9.45	2.11	0.75	475.15	2.112	53.453	0.029	0.600	0.305	0.026	0.018
		Mediana	65.70	1.42	7539	9.0	8.4	2.6	2.08	7.75	2.43	0.75	498.97	0.061	49.932	0.029	0.405	0.157	0.011	0.018
		RIC	66.42-65.1	1.71-1.08	10754-534	21.6-1.2	12.3-4.5	10.6-0.8	13.38-0.49	10.96-4.88	3.6-0.19	0.75-0.75	735.37-40.48	1.379-0.026	108.743-0.965	0.043-0.014	1.159-0.093	0.392-0.037	0.057-0.007	0.018-0.018
ef5-SV	Mínimo	64.56	<D.L.	57	1.1	55.2	0.2	0.07	0.16	0.12	1.22	15.62	0.134	0.178	0.012	0.009	0.047	0.004	0.351	
	Máximo	66.85	3.33	897	683.3	2083.6	3028.8	0.07	172.91	9.13	1.69	8252.64	996.768	1860.870	0.080	14.875	16.489	18.064	1.795	
	Promedio	66.31	0.59	460	328.3	889.8	857.6	0.07	23.83	4.81	1.45	4835.68	148.823	647.674	0.046	3.908	2.773	5.133	0.979	
	Mediana	66.65	0.02	425	287.3	633.2	589.7	0.07	6.56	5.17	1.43	4697.04	50.485	566.402	0.044	3.437	0.639	2.640	0.886	
	RIC	66.76-65.98	0.95-0.01	897-57	524.3-187.3	1583-311.2	1335.2-43.2	0.07-0.07	17.62-3.79	5.85-4.11	1.69-1.22	7180.13-3887.58	200.17-5.472	1207.452-39.328	0.055-0.032	6.767-0.018	4.305-0.306	8.19-0.469	1.656-0.396	

DEPÓSITO	ESFALERITA	ELEMENTOS																			
		Zn (wt%)	Fe (wt%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Co (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Se (ppm)	Cd (ppm)	Ga (ppm)	Ge (ppm)	Mo (ppm)	Tl (ppm)	Sn (ppm)	In (ppm)	Sb (ppm)		
SHALIPAYCO	ef6-SV	Mínimo	65.80	<D.L.	15	145.7	4.1	5.8	0.79	3.02	3.51	1.01	1362.92	0.756	6.733	0.022	0.020	0.185	0.069	0.033	
		Máximo	67.92	0.03	122	1160.8	1149.4	1958.7	0.79	139.80	7.33	1.42	9924.13	305.698	1095.630	0.101	24.705	2.704	8.614	0.071	
		Promedio	66.39	0.02	57	391.8	167.8	216.5	0.79	15.99	4.92	1.18	4307.91	43.248	251.626	0.047	5.900	0.881	1.145	0.052	
		Mediana	66.05	0.02	47	314.4	20.4	19.6	0.79	3.65	4.76	1.14	3440.18	25.217	175.840	0.042	5.118	0.646	0.510	0.052	
		RIC	67.04-65.81	0.03-0.01	90-27	398.5-241.7	257.9-13.3	105.6-12.9	0.79-0.79	5.82-3.43	5.19-4.38	1.38-1.02	5631.85-3068.89	50.472-14.365	294.193-114.682	0.058-0.029	8.278-1.607	1.123-0.37	1.012-0.185	0.071-0.033	
	ef7-SV	Mínimo	67.62	<D.L.	<D.L.	273.0	95.8	14.0	<D.L.	3.81	8.35	1.00	3817.26	92.340	0.136	0.037	0.010	0.223	3.762	<D.L.	
		Máximo	67.62	<D.L.	<D.L.	593.3	206.0	46.1	<D.L.	4.76	8.93	1.05	4805.12	195.372	2.052	0.211	0.154	1.439	5.822	<D.L.	
		Promedio	67.62	<D.L.	<D.L.	423.1	136.6	27.9	<D.L.	4.06	8.55	1.02	4440.52	130.111	0.646	0.100	0.049	0.531	4.585	<D.L.	
		Mediana	67.62	<D.L.	<D.L.	381.7	112.5	27.2	<D.L.	3.96	8.50	1.02	4497.39	99.064	0.198	0.052	0.016	0.277	4.494	<D.L.	
		RIC	67.62-67.62	<D.L.	<D.L.	539.9-327.1	189.2-96	38.1-17.9	<D.L.	4.36-3.82	8.73-8.39	1.05-1	4765.97-4086.62	183.062-92.683	1.597-0.143	0.211-0.037	0.121-0.01	0.939-0.25	5.408-3.808	<D.L.	
	ef2-SH	Mínimo				384	3.2	442.0	11.7	0.15	3.97	8.74	0.75	1501.11	0.032	4.493	0.027	0.037	0.156	0.033	5.738
		Máximo				37888	14.2	5090.1	511.9	18.38	895.61	780.06	1.02	7687.14	474.895	731.290	0.180	6.701	0.299	1.146	2237.538
		Promedio				11193	9.9	2766.0	192.4	3.41	85.29	315.00	0.86	3942.61	36.962	253.659	0.063	1.965	0.236	0.589	260.124
		Mediana				3116	10.7	2766.0	163.0	0.49	12.58	407.70	0.83	4031.61	0.243	249.255	0.033	1.526	0.250	0.589	53.095
		RIC				19301-672	14-5.9	5090.1-442	375.4-22.7	5.02-0.34	36.53-6.54	506.54-45.88	0.98-0.76	5446.42-2192.5	1.129-0.062	408.634-46.824	0.112-0.029	2.294-0.72	0.268-0.199	1.146-0.033	165.787-9.069
	ef3-SH	Mínimo				181	1.5	4.9	5.6	11.18	4.97	3.04	0.68	2425.50	0.034	2.670	0.023	0.011	0.151	0.006	0.070
		Máximo				22783	7.9	1347.0	1599.8	28.50	158.68	771.55	1.43	7048.09	31.826	965.935	0.507	34.762	0.517	2.585	407.187
		Promedio				3151	4.4	285.9	388.9	19.46	27.69	180.34	1.06	4094.40	4.638	320.914	0.087	3.476	0.228	0.305	81.765
		Mediana				1040	4.4	87.6	295.1	18.74	16.39	119.17	1.12	3871.32	0.530	306.832	0.036	1.047	0.226	0.026	30.174
		RIC				1820-755	6.9-1.9	294.2-12.5	549.6-58.2	26.46-13.19	29.57-7.6	289.49-71.71	1.29-0.73	4708.54-3375.47	6.029-0.079	510.008-55.714	0.065-0.029	2.968-0.26	0.258-0.178	0.14-0.008	113.73-9.842
ef4-SV	Mínimo				424	3.2	5.3	176.3	<D.L.	7.31	45.50	0.74	2134.25	0.073	156.400	0.028	0.343	0.182	0.069	3.873	
	Máximo				882	3.2	548.5	1469.3	<D.L.	13.58	301.04	0.74	4058.03	31.293	1119.373	0.030	3.784	4.288	0.571	44.657	
	Promedio				659	3.2	177.8	561.9	<D.L.	9.21	95.23	0.74	2976.53	11.000	408.851	0.029	1.377	1.371	0.275	13.997	
	Mediana				666	3.2	140.7	539.9	<D.L.	7.81	57.03	0.74	3010.48	3.122	303.690	0.029	0.591	0.228	0.186	8.246	
	RIC				786-486	3.2-3.2	356.1-18.1	603.5-274.2	<D.L.	12.43-7.5	91.02-48.56	0.74-0.74	3547.79-2179.78	23.136-0.157	379.324-236.103	0.03-0.028	1.96-0.457	3.939-0.2	0.571-0.069	21.694-5.513	

Nota: Las celdas sombreadas de gris muestran el tipo de esfalerita con la mayor concentración de cada elemento por depósito.

5. Discusión

5.1. Enriquecimiento de Ge y Ga en esfalerita

La esfalerita puede hospedar concentraciones elevadas de elementos traza como Ga y Ge (Cook et al. 2009; Belissont et al. 2014; Butcher y Brown 2014; Melcher y Buchholz 2014). Algunas muestras de esfalerita de los depósitos MVT de San Vicente y Shalipayco contienen concentraciones destacadas de ambos metales críticos. En San Vicente, la esfalerita alcanza concentraciones máximas de Ga de hasta 997 ppm en esfalerita 5 (RIC= 200-5 ppm), y de Ge de hasta 1861 ppm en la misma generación/tipo textural de esfalerita (RIC= 1207-39 ppm). Si bien para Shalipayco se han identificado 5 tipos/generaciones de esfalerita (Millán-Núñez 2020), solo se obtuvieron análisis de elementos traza para esfalerita de los tipos 2 a 4. En Shalipayco, el RIC de Ga más elevado corresponde a esfalerita 4 (RIC=23.14-0.16 ppm), y los valores máximos, de hasta 475 ppm, a esfalerita 2. En cuanto al Ge en Shalipayco, los contenidos más elevados fueron hallados en esfalerita 3 (RIC=510-56 ppm, hasta 966 ppm). Las concentraciones de Ge en esfalerita de ambos depósitos son notablemente altas, comparables a las reportadas para depósitos de baja temperatura de tipo vetiforme como Saint-Salvy (Belissont et al.2014). En cambio, las concentraciones de In en esfalerita son sistemáticamente bajas (e.g., RIC= 8.2-0.5 ppm en esfalerita 5 de San Vicente), como se espera para mineralizaciones MVT (Cook et al. 2009; Belissont et al. 2014).

Para determinar los mecanismos de incorporación de Ge y Ga en la estructura cristalina de la esfalerita en San Vicente y Shalipayco se han elaborado diagramas de correlación elementales (en $\mu\text{mol/g}$; Figuras 12 y 13). Se observa una correlación positiva entre las concentraciones molares de Ge y Ag a proporciones $\sim 1:1$ (Figura 12A-B). Asumiendo que el Ge presenta estado de oxidación +4, se sugiere la sustitución acoplada $3\text{Zn}^{2+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+} + 2\text{Ag}^+$,

la cual fue propuesta también para el depósito de Saint-Salvy por Belissont et al. (2014). También se observan correlaciones positivas menos marcadas entre las concentraciones molares de Ge y las de Tl, Sn y Cu (Figuras 12C-E) que podrían ser parte de un mismo mecanismo de sustitución más complejo que se evaluará en el siguiente párrafo. Las concentraciones molares de Ga presentan una buena correlación positiva con las de In (Figura 12F) y correlación positiva con Sn y Mn, aunque con una notable dispersión de datos (Figuras 12G-H).

En la Figura 13 se recogen algunos gráficos binarios en los que se combinan diferentes sumatorias de elementos en alguno o ambos ejes para evaluar la existencia de sustituciones más complejas. Se ha determinado que existe una correlación positiva entre Cu+Ag y Ge+Ga+Sn+In a proporciones ~ 1:1 (Figura 13A), especialmente evidente para valores altos de los elementos seleccionados. Esta correlación sugeriría una sustitución $(\text{Cu} + \text{Ag})^{+1} + (\text{In} + \text{Ga})^{+3} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$. Sin embargo, la distribución de los datos es similar si a esta correlación se le sustraen las concentraciones de In (Figura 13B) lo que también respaldaría la sustitución $(\text{Cu} + \text{Ag})^{+1} + \text{Ga}^{+3} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$. Pasa lo mismo si se sustraen los valores de Ga (Figura 13C), si bien en este último caso unos pocos datos se alejan de la línea de correlación 1:1. Esta tendencia positiva podría sustentar un mecanismo solo para el Ge como $\text{Cu}^{+1} + \text{Ag}^{+1} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 3\text{Zn}^{2+}$. En cambio, si se elimina Ge (diagrama Cu+Ag vs. Ga+Sn, Figura 13D), no se observa ninguna tendencia por la gran dispersión de los datos.

Para el caso de sustituciones acopladas para Ga, la nula correlación de las concentraciones molares de este elemento con las de Ag + Cu descarta un papel relevante de la sustitución acoplada $(\text{Ag}, \text{Cu})^{+} + \text{Ga}^{3+} \leftrightarrow 2\text{Zn}^{2+}$ propuesta por Cook et al. (2009). Se consideró en la relación al Sn debido a su ligera correlación positiva con Ga (Figura 12G).

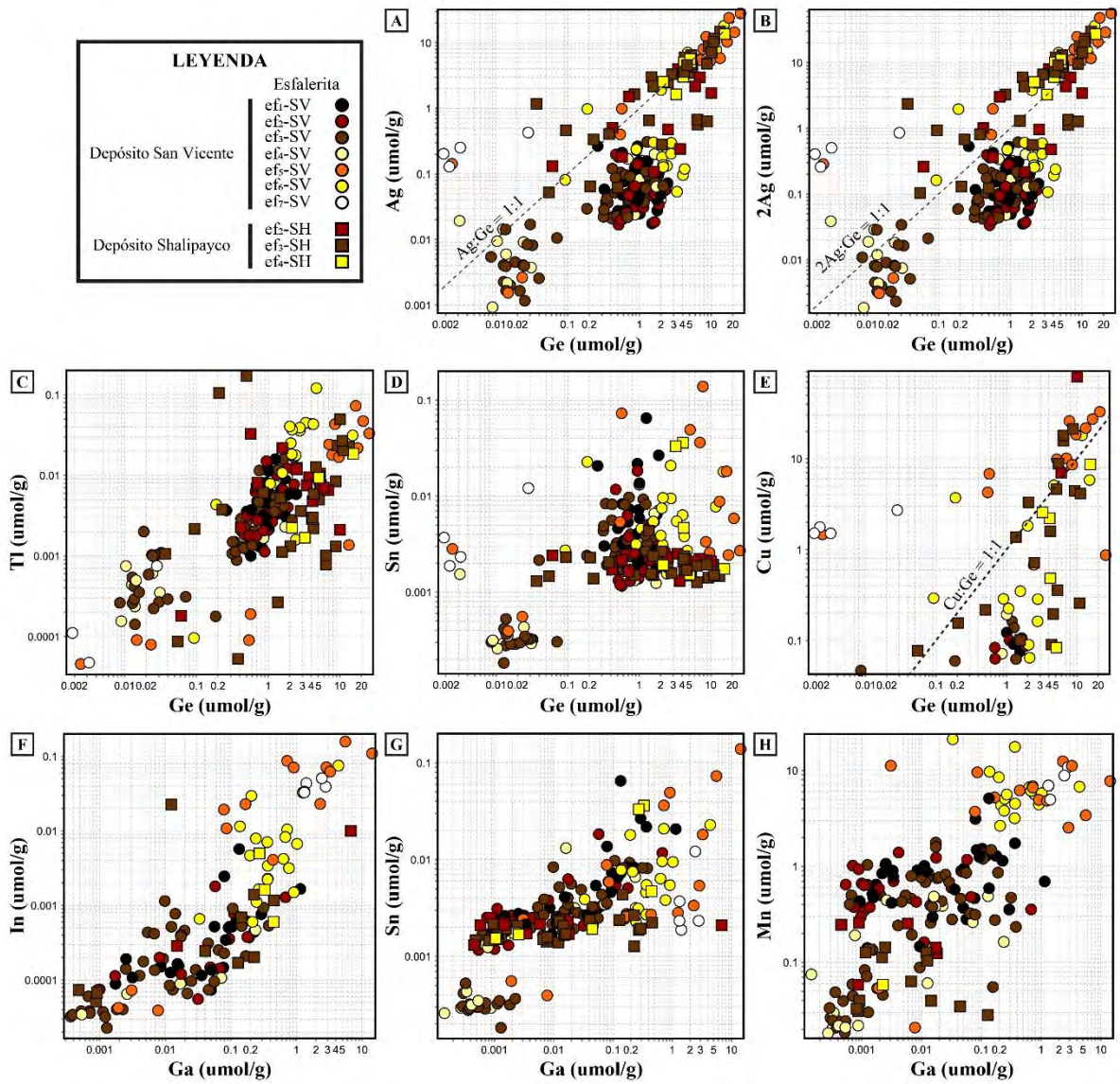


Figura 12: Gráficos de correlación binaria entre Ge (A-E) y Ga (F-H), y diversos elementos presentes en esferalerita de los depósitos San Vicente y Shalipayco.

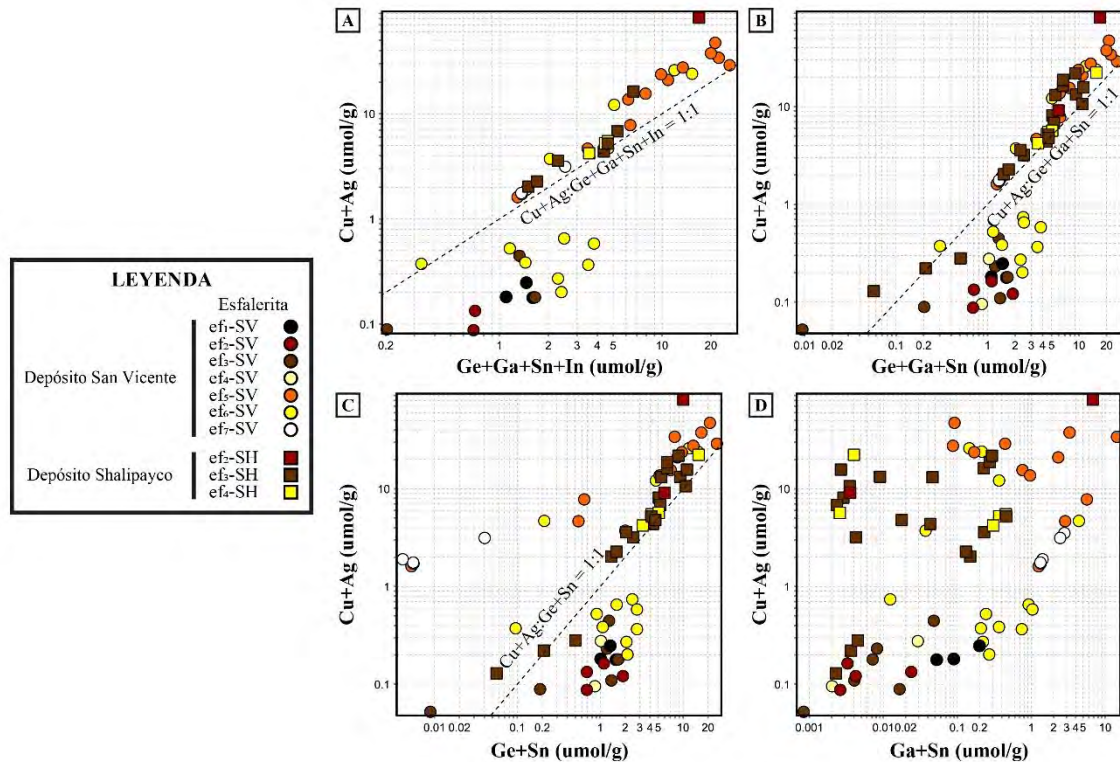


Figura 13: Gráficos de correlaciones multielementales de esfalerita de los depósitos San Vicente y Shalipayco.

5.2. Control composicional en el color de la esfalerita

El estudio petrográfico desarrollado en menas de los depósitos de San Vicente (esta tesis) y Shalipayco (Millán-Núñez 2020) ponen de manifiesto una amplia variedad de coloraciones en la esfalerita que pueden ser correlacionadas, entre otros factores, con la evolución paragenética de la mineralización y su respectiva composición (Figura 9; ver también Figura 6 en Millán-Núñez 2020). Para evaluar el impacto de la composición elemental de la esfalerita en la coloración de la misma se han elaborado diagramas de cajas y bigotes que comprenden los 7 tipos/generaciones de esfalerita identificados para San Vicente y 3 (esfalerita 2 a 4) de los 5 tipos/generaciones identificados en Shalipayco (Figura 11).

Estudios previos sugieren que el contenido de Fe en la esfalerita controla el color de sus reflejos internos (Salih 2009; Knorsch et al. 2020). Knorsch et al. (2020) proponen que las variedades oscuras de esfalerita tienen altas concentraciones de Fe, mientras que coloraciones

más claras presentan los menores contenidos de este elemento. En este sentido, Salih (2009) también identificó que coloraciones como marrón rojizo o amarillo blanquecino se correlacionan con concentraciones progresivamente menores de Fe. Knorsch et al. (2020) proponen que una secuencia de cristalización de esfalerita en la que cada vez cristalizan ejemplares de coloración más clara podría correlacionarse con el agotamiento progresivo de algunos elementos (Fe, Pb, Mn o Ag) a medida que avanza la mineralización.

En el depósito de San Vicente, la esfalerita con concentraciones más altas de Fe (RIC= 26 178-14 889 ppm, 21 682 ppm en promedio) es la esfalerita 1 – de color negro –, mientras que la esfalerita 7 – de color blanco – tiene las concentraciones más bajas de Fe, que se encuentran sistemáticamente por debajo de su límite de detección con las dos técnicas de análisis utilizadas (EPMA y LA-ICP-MS). Por lo tanto, vemos que en una primera aproximación el Fe controlaría fuertemente el color de la esfalerita, como proponen los autores citados anteriormente. En detalle, se puede observar que la disminución en la concentración de Fe es continua en los tipos/generaciones de esfalerita en San Vicente (de esfalerita 1 a 7) y Shalipayco (de esfalerita 2 a 4; Figura 11). Sin embargo, en San Vicente también se observa que, aunque el contenido de Fe va descendiendo según el color de esfalerita (de negro a blanco), esta disminución de los valores de Fe se daría dentro de dos bloques compuestos por i) esfalerita 1 (negra) hasta esfalerita 4 (amarilla parduzca) y ii) esfalerita 5 (naranja) hasta esfalerita 7 (blanca). El hecho de que haya esta disminución abrupta en la concentración de Fe entre ambos bloques, a la par que se mantiene una tendencia de cristalización de variedades cada vez más claras de esfalerita, podría implicar que las concentraciones de otros elementos controlarían el color de este mineral.

Según Knorsch et al. (2020), la coloración negra a marrón oscura de esfalerita también puede deberse a altas concentraciones de Mn. En las muestras de esfalerita estudiadas, los

cristales que contienen mayores concentraciones de Mn corresponden a esfalerita 7 (de color blanco; RIC= 540-327 ppm), esfalerita 5 (de color naranja; RIC= 524-187 ppm) en San Vicente y esfalerita 2 (de color marrón rojizo; RIC= 14-6 ppm) en Shalipayco (Figura 11A). Según estas observaciones, el color marrón rojizo - naranja podría ser ocasionado por el Mn, aunque el hecho de que sea la esfalerita blanca una de las más ricas en Mn no respalda que este elemento tenga control sobre el color. Además, la variedad naranja de San Vicente y marrón rojizo de Shalipayco no solo presentan las mayores concentraciones de Mn, sino también de Cu, Ag, Cd, Ga, Ge, Sn e In, y de Fe, Cu, As, Hg, Cd, Mo, Tl, In y Sb, respectivamente.

Sapalski y Gómez (1992), encontraron importantes concentraciones de Cd (1300 ppm) y Hg (2700 ppm) en esfalerita roja del depósito Aliva (España). Aunque esta observación es también aplicable en la esfalerita marrón rojiza de Shalipayco, que presenta las mayores concentraciones de Cd y Hg del depósito, no es reproducible para las muestras estudiadas de San Vicente, donde las mayores concentraciones de Cd se encuentran en la esfalerita naranja y las de Hg, en la esfalerita blanca. En base a lo observado, el Cd podría influir de forma significativa en la coloración marrón rojiza y naranja de la esfalerita.

Knorsch et al. (2020) encontraron que esfalerita tardía de colores claros era relativamente rica en Tl y Ga. Las concentraciones más elevadas de Tl fueron encontradas en esfalerita amarilla de San Vicente (RIC=8.3-1.6 ppm). Las máximas concentraciones de Ga se presentan en esfalerita naranja (RIC=200-5 ppm) y esfalerita blanca (RIC=183-93 ppm) de San Vicente, y amarilla parduzca de Shalipayco (RIC=23.14-0.16 ppm). Estas observaciones coinciden con el criterio planteado por Knorsch et al. (2020) y, tanto Tl como Ga podrían tener cierto control en el color de la esfalerita. Así mismo, una alta concentración de As ha sido observada por Knorsch et al. (2020) y Kelley et al. (2004) en esfalerita marrón claro. En los resultados obtenidos, las concentraciones mayores de As se encuentran en la esfalerita 2 (RIC=26-9 ppm)

de San Vicente y en la esfalerita 2 de Shalipayco (RIC=37-7 ppm), ambas de coloración marrón rojiza. En este sentido, el As también podría tener influencia en el color de la esfalerita.

5.3. Temperatura de formación de la esfalerita

Para determinar la temperatura de cristalización de la esfalerita en las muestras estudiadas de los depósitos San Vicente y Shalipayco se ha utilizado el geotermómetro GGIMFis propuesto por Frenzel et al. (2016).

La Tabla 5 contiene las temperaturas de formación calculadas para esfalerita de ambos depósitos, que varían entre 45 ± 94 y 195 ± 43 °C. Este rango de temperaturas (teniendo en cuenta los grandes rangos de error inherentes al geotermómetro usado) coincide con las temperaturas típicas de los fluidos hidrotermales en mineralizaciones MVT (50-250 °C; Leach et al. 2010; Frenzel et al. 2016). En el caso de San Vicente, en este estudio se han hallado temperaturas que se superponen con las encontradas por Fontboté y Gorzawski (1990) a partir de datos isotópicos (75-92 °C) e inclusiones fluidas (70-140 °C). Además, a grandes rasgos coinciden con el rango de temperaturas que haría posible una reducción termoquímica de sulfato (Fontboté y Gorzawski 1990). De la misma forma, las temperaturas calculadas se superponen con las determinadas mediante microtermometría de inclusiones fluidas en dolomita y esfalerita de mineralizaciones MVT del área de Bongará Perú (78-187 °C; Basuki y Spooner 2009) y en depósitos de Zn-Pb alojados en sedimentos en la cuenca de Baja Sajonia en Alemania (148 ± 55 °C; Knorsch et al. 2020).

Se observa una cierta tendencia hacia temperaturas más elevadas en los cristales de esfalerita de colores más oscuros como negro (184 ± 41 °C), marrón rojizo (195 ± 43 °C), marrón amarillento (169 ± 50 °C) y amarillo parduzco (164 ± 50) en el caso de San Vicente, y marrón rojizo (126 ± 123) en el caso de Shalipayco. Knorsch et al. (2020) interpretan este hecho como evidencia de un fluido hidrotermal que se enfría progresivamente, cristalizando

las generaciones de esfalerita de colores oscuros durante etapas más tempranas durante las cuales el fluido es más caliente.

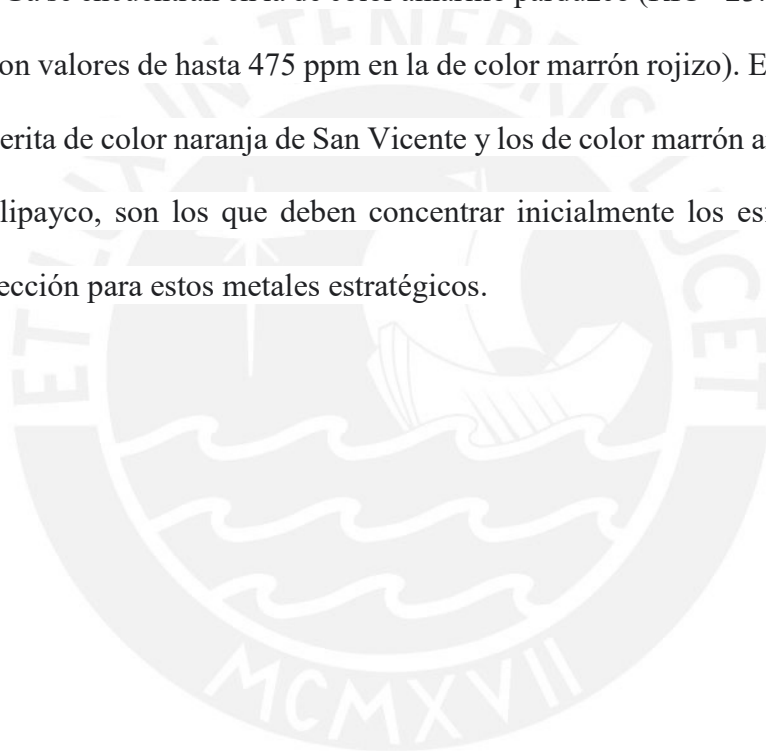
Tabla 4: Temperatura promedio de formación de cada tipo textural de esfalerita analizado en San Vicente y Shalipayco calculada a partir del geotermómetro GGIMFis propuesto por Frenzel et al. (2016). Se presenta también la cantidad de muestras analizadas por cada tipo/generación de esfalerita, el error absoluto y los sigmas 1 y 2. Para el cálculo, los valores que están por debajo del límite de detección han sido substituidos por el valor del límite de detección de cada análisis.

Lugar	Generación	Cantidad	Media	Error abs	1 sigma	2 sigma
San Vicente	ef-1-SV	35	184	45	21	41
	ef-2-SV	27	195	40	21	43
	ef-3-SV	56	169	62	25	50
	ef-4-SV	17	164	55	25	50
	ef-5-SV	15	45	116	47	94
	ef-6-SV	19	50	61	16	33
	ef-7-SV	5	105	32	14	27
Shalipayco	ef-2-SH	13	126	93	62	123
	ef-3-SH	30	98	134	56	113
	ef-4-SH	7	58	51	18	37

5.4. Recomendaciones para la exploración de Ga y Ge en yacimientos MVT

Los depósitos de Zn-Pb alojados en sedimentos, incluyendo los MVT, son altamente prospectivos para metales críticos, específicamente para Ge y Ga (Cook et al. 2009; Belissont et al. 2014; Wei et al. 2019; Knorsch et al. 2020). Valores reportados incluyen concentraciones de hasta 2600 ppm de Ge en Saint-Salvy (Belissont et al. 2014). En el Perú, Mondillo et al. (2018b) reportaron concentraciones de hasta 386 ppm Ge en esfalerita del depósito Cristal. Los resultados obtenidos en esta tesis se suman a estos antecedentes, con concentraciones en esfalerita de hasta 1861 ppm de Ge y 997 ppm de Ga para el depósito de San Vicente, y de hasta 1119 ppm de Ge y 475 ppm de Ga para el depósito de Shalipayco. Estas cifras sitúan algunos de los tipos de esfalerita de depósitos MVT del Perú dentro de las más ricas en Ge y Ga a nivel mundial. Debido a que la esfalerita es el principal mineral de mena en estos depósitos, la dotación de Ge y Ga en estos yacimientos es altamente atractiva y requiere atención.

Los resultados obtenidos verifican que la esfalerita es una potencial portadora de estos metales críticos y que la concentración de los mismos varía de acuerdo a la variedad de esfalerita. En este estudio la esfalerita de color naranja cristalizada en una posición intermedia a avanzada de la secuencia paragenética en San Vicente es la que presenta las mayores concentraciones de Ge (RIC= 1207-39 ppm, hasta 1861 ppm) y Ga (RIC= 200-5.4 ppm, hasta 997 ppm). En el caso de Shalipayco, la esfalerita que presenta los mayores contenidos de Ge (RIC= 510-56 ppm, hasta 966 ppm) es la de color marrón amarillento, mientras que los valores más elevados de Ga se encuentran en la de color amarillo parduzco (RIC= 23.1-0.2 ppm; nótese que se encontraron valores de hasta 475 ppm en la de color marrón rojizo). En este sentido, los cristales de esfalerita de color naranja de San Vicente y los de color marrón amarillento y color amarillo de Shalipayco, son los que deben concentrar inicialmente los esfuerzos analíticos durante la prospección para estos metales estratégicos.



6. Conclusiones

- Se han identificado texturas tipo “cebra”, bandeado coloforme simple, brechas de colapso con clastos de carbonatos y esfalerita, reemplazamiento entre los distintos tipos de esfalerita y los carbonatos, “snow-on-the-roof” y combinaciones de las ya mencionadas en las muestras estudiadas de los depósitos de San Vicente y Shalipayco.
- Se han identificado 7 generaciones/tipos texturales de esfalerita en San Vicente que se diferencian por los colores (y el de sus reflejos internos) que varían entre negro (esfalerita 1), marrón rojizo (esfalerita 2), marrón amarillento (esfalerita 3), amarillo parduzco (esfalerita 4), naranja (esfalerita 5), amarillo (esfalerita 6) y blanco (esfalerita 7).
- Las concentraciones de Fe ejercen un control de primer orden en el color de la esfalerita analizada, siendo las variedades más oscuras las más ricas en este elemento y las más claras, las más pobres. Otros elementos que pueden influir en el color de la esfalerita son el Cd, con concentraciones elevadas de estos elementos en variedades de colores rojizos (marrón rojizo y naranja), Tl y Ga, con concentraciones elevadas en esfalerita de colores claros (naranja, amarillo, blanco y amarillo parduzco) y As, que presenta altas concentraciones en esfalerita marrón rojiza de ambos depósitos. En cambio, las concentraciones de Mn no han podido ser correlacionadas con variedades de color particulares en las muestras de San Vicente y Shalipayco. En conclusión, aunque existen diversos parámetros que podrían controlar la coloración de la esfalerita, las concentraciones de algunos elementos tienen importante relevancia.
- La mayoría de los tipos de esfalerita identificados presentan concentraciones elevadas de Ga y Ge, comparables a las determinadas en esfalerita de otros yacimientos de Zn-Pb encajados en sedimentos a nivel mundial destacados por su enriquecimiento en estos elementos. Además, los valores máximos hallados en San Vicente (997 ppm de Ga y

1861 ppm de Ge) y Shalipayco (475 ppm de Ga y 966 ppm de Ge) sitúan ciertos tipos de esfalerita de estos depósitos entre los más ricos en estos dos elementos globalmente.

- A partir de correlaciones entre las concentraciones molares de elementos analizados se concluye que la incorporación de Ga y Ge en la esfalerita se dio a través de sustituciones acopladas del tipo $3\text{Zn}^{2+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+} + 2\text{Ag}^+$, $(\text{Cu} + \text{Ag})^{+1} + (\text{In} + \text{Ga})^{+3} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$ y $(\text{Cu} + \text{Ag})^{+1} + \text{Ga}^{+3} + (\text{Sn} + \text{Ge})^{+4} \leftrightarrow 4\text{Zn}^{2+}$.
- Los cristales de esfalerita que presentan las concentraciones más altas de Ga y Ge en ambos depósitos cristalizaron en etapas intermedias a tardías de las respectivas secuencias de cristalización. Los contenidos más elevados de Ga y Ge han sido detectados en esfalerita de color naranja de San Vicente y en esfalerita de color amarillo parduzco y marrón amarillento de Shalipayco. Ambos criterios (posición en la secuencia paragenética y color) pueden constituir preliminarmente pautas para futuras exploraciones en las que la presencia de estos elementos críticos sea importante en la valorización de un yacimiento de tipo MVT.

7. Bibliografía

- Alldrick D, Sangster D (1995) Mississippi Valley-type Pb-Zn. En: capítulo E12 de British Columbia Geological Survey, British Columbia Mineral Deposit Profiles, pp 117-121
- Altman K, Carlsson J, Robson D, Theben S (2017) Technical report on the preliminary economic assessment of the Shalipayco project, Junín Region, Peru. VM Holding S.A.: 7.1-8.2
- Badoux V, Moritz R, Fontboté L (2001) The Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit of San Vicente, Central Peru: An Andean syntectonic deposit. En: Piestrzyński A et al. (eds) Mineral deposits at the beginning of the 21st century. Balkema, Amsterdam, pp 191–195
- Basuki NI, Taylor BE, Spooner ETC (2008) Sulfur isotope evidence for thermochemical reduction of dissolved sulfate in Mississippi Valley-type Zinc-Lead mineralization, Bongará Area, Northern Peru. *Economic Geology* 103:783–799
- Basuki NI, Spooner ETC (2009) Post-early Cretaceous Mississippi Valley type Zn-Pb mineralization in the Bongará area, Northern Peru: fluid evolution and paleo-flow from fluid inclusions evidence. *Exploration and Mining Geology* 18:25–39.
<https://doi.org/10.2113/gsemg.18.1-4.25>
- Baumgartner RJ, Van Kranendonk MJ, Pagès A, Fiorentini ML, Wacey D, Ryan C (2020) Accumulation of transition metals and metalloids in sulfidized stromatolites of the 3.48 billion-year-old Dresser Formation, Pilbara Craton. *Precambrian Research* 337:105534.
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105534>
- Belissant R, Boiron MC, Luais B, Cathelineau M (2014) LA-ICP-MS analyses of minor and trace elements and bulk Ge isotopes in zoned Ge-rich sphalerites from the Noailhac –

- Saint-Salvy deposit (France): Insights into incorporation mechanisms and ore deposition processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 126:518-540
- Belissant R, Boiron MC, Luais B, Muchez P, de Oliveira D, Muñoz M (2015) Germanium Distribution and Isotopic Study in Sulphides from MVT-Related and VMS-Remobilised Ore Deposits. Strategic metals: their sources, and ore-forming processes Mineral Resources In A Sustainable World, 13th SGA Biennial Meeting 2015 2:683–686
- Benavides-Cáceres V (1999) Orogenic evolution of the Peruvian Andes: the Andean cycle. En: Skinner BJ (ed) *Geology and Mineral Deposits of the Central Andes*. Special Publication of the Society of Economic Geologists 7:61-107. <https://doi.org/10.5382/sp.07.03>
- Butcher T, Brown T (2014) Gallium. En: Gunn G (ed) *Critical Metals Handbook* 1:150-176
- Capdevila R, Mégard F, Paredes J, Vidal P (1977) Le batholite de San Ramón, Cordillère Orientale du Pérou central. *Geologische Rundschau* 66:434-446. <https://doi.org/10.1007/BF01989586>
- 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
- Cook NJ, Ciobanu CL, Pring A, Skinner W, Shimizu M, Danyushevsky L, Saini-Eidukat B, Melcher F (2009) Trace and minor elements in sphalerite: a LA-ICPMS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73:4761-4791
- Cook NJ, Etschmann B, Ciobanu CL, Geraki K, Howard DL, Williams T, Rae N, Pring A, Chen G, Johannessen B, Brugger J (2015) Distribution and substitution mechanism of

Ge in a Ge-(Fe)-bearing sphalerite. Minerals 5:117–132.

<https://doi.org/10.3390/min5020117>

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

de Oliveira SB (2019) Geologia e gênese dos depósitos de Zn-Pb de Shalipayco e Florida Canyon, centro-norte do Peru. Tesis de Doctorado, Universidade de São Paulo

de Oliveira SB, Leach DL, Juliani C, Monteiro LVS, Johnson CA (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.
<https://doi.org/10.5382/econgeo.4690>

de Oliveira SB, Juliani C, Monteiro LVS, Tassinari CCG (2020) Structural control and timing of evaporite-related Mississippi Valley-type Zn–Pb deposits in Pucará Group, Northern Central Peru. Journal of South American Earth Sciences 103:102736.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102736>

European Commission (2020) Study on the EU's list of Critical Raw Materials (final report). European Commission.
<https://doi: 10.2873/904613>

Foley NK, Jaskula BW, Kimball BE, Schulte RF (2017) Gallium. En: Schulz KJ et al. (eds) Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1802, pp H1-H35. <https://doi.org/10.3133/pp1802H>

- Fontboté L. (1993) Self-organization fabrics in carbonate-hosted ore deposits: the example of diagenetic crystallization rhythmites (DCRs). En: Current research in geology applied to ore deposits. Proceedings of the Second Biennial SGA Meeting. Granada, Spain, pp 11-14
- 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. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.7.1402>
- Frenzel M, Hirsch T, Gutzmer J (2016) Gallium, germanium, indium, and other trace and minor elements in sphalerite as a function of deposit type - A meta-analysis. Ore Geology Reviews 76:52-78. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.12.017>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.04.008>
- Guillong M, Hametner K, Reusser E, Wilson SA, Günther D (2005) Preliminary characterisation of new glass reference materials (GSA-1G, GSC-1G, GSD-1G and GSE-1G) by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry using 193 nm, 213 nm and 266 nm Wavelengths. Geostandards and Geoanalytical Research 29:315-331. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.2005.tb00903.x>
- Guillong M, Meier DL, Allan MM, Heinrich CA, Yardley BWD (2008) SILLS: A MATLAB-based program for the reduction of laser ablation ICP-MS data of homogeneous materials and inclusions. En: Sylvester P (ed) Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues. Mineralogical Association of Canada Short Course 40, pp 328–333

- Guillong M, Wotzlaw J, Looser N, Laurent O (2020) Evaluating the reliability of U–Pb laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) carbonate geochronology: matrix issues and a potential calcite validation reference material. *Geochronology* 2:155-167. <https://doi.org/10.5194/gchron-2-155-2020>
- Gunnesch KA, Baumann A, Gunnesch M (1990) Lead isotope variations across the Central Peruvian Andes. *Economic Geology* 85:1384-1401.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.7.1384>
- Jenks WF (1951) Triassic to Tertiary stratigraphy near Cerro de Pasco, Peru. *Geological Society of America Bulletin* 62:202–220.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1951\)62\[202:TTTSNC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1951)62[202:TTTSNC]2.0.CO;2)
- Jochum KP, Weis U, Stoll B, Kusmin D, Yang Q, Raczeck I, Jacob DE, Stracke A, Birbaum K, Frick DA, Günther D, Enzweiler J (2011) Determination of reference values for NIST SRM 610-617 glasses following ISO guidelines. *Geostandards and Geoanalytical Research* 35:397–429. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2011.00120.x>
- 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
- Kelley KD, Leach DL, Johnson CA, Clark JL, Fayek M, Slack JF, Anderson VM, Ayuso RA, Ridley WI (2004) Textural, compositional, and sulfur isotope variations of sulfide minerals in the Red Dog Zn-Pb-Ag deposits, Brooks Range, Alaska: implications for ore formation. *Economic Geology* 7:1509–1532. <https://doi.org/10.2113/99.7.1509>

Knorsch M, Nadoll P, Klemm R (2020) Trace elements and textures of hydrothermal sphalerite and pyrite in Upper Permian (Zechstein) carbonates of the North German Basin. *Journal of Geochemical Exploration* 209:106416. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106416>

Lancelot JR, Laubacher G, Marocco R, Renaud U (1978) U/Pb radiogeochronology of two granitic plutons from the Eastern Cordillera (Perú)-extent of Permian magmatic activity and consequences. *Geologische Rundschau* 67:236-243.

<https://doi.org/10.1007/BF01803263>

Leach DL, Sangster DF, Kelley KD, Large RR, Garven G, Allen CR, Gutzmer J, Walters S (2005) Sediment-hosted Lead-Zinc deposits: a global perspective. *Economic Geology* 100: 561–607. <https://doi.org/10.5382/AV100.18>

Leach DL, Taylor RD, Fey DL, Diehl SF, Saltus RW (2010) A deposit model for Mississippi Valley-type Lead-Zinc ores. En: capítulo A de Mineral deposit models for resource assessment. U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2010–5070–A. <https://doi.org/10.3133/sir20105070A>

Marsh EE, Hitzman MW, Leach DL (2016) Critical Elements in Sediment-Hosted Deposits (Clastic-Dominated Zn-Pb-Ag, Mississippi Valley-Type Zn-Pb, Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Cu, and Carbonate-Hosted Polymetallic Deposits): A Review. *Reviews in Economic Geology* 18:307–321

Mégard F (1978) Etude géologique des Andes du Pérou Central, contribution à l'étude géologique des Andes. Office de la Recherche Scientifique et Technique. Institut français d'études andines 86:306. <https://doi.org/10.4000/books.ifea.1450>

Melcher F, Buchholz P (2014) Germanium. En: Gunn G (ed) *Critical Metals Handbook* 1:177-203

- Merino E, Canals A, Flecher RC (2006) Genesis of self-organized zebra textures in burial dolomites: Displacive veins, induced stress, and dolomitization. *Geologica Acta* 4(3):383-393
- Millán-Núñez AJ (2020) Mineralogía y texturas de la mineralización en el yacimiento de tipo MVT de Shalipayco, Perú. Trabajo de investigación de Bachillerato, Pontificia Universidad Católica del Perú
- 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 JS, Villa IM (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.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.021>
- 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.
<https://doi.org/10.1007/BF00204023>
- Paradis S (2015) Indium, germanium and gallium in volcanic- and sediment-hosted base-metal sulphide deposits. En: Simandl GJ, Neetz M (eds.) *Symposium on Strategic and Critical*

Materials Proceedings. British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey Paper 2015-3, pp 23-29

Ritterbush KA, Rosas S, Corsetti FA, Bottjer DJ, West AJ (2015) Andean sponges reveal long-term benthic ecosystem shifts following the end-Triassic mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 420:193–209.

<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.12.002>

Rosas S, Fontboté L (1995) Evolución sedimentológica del Grupo Pucará (Triásico superior - Jurásico inferior) en un perfil SW-NE en el centro del Perú. Volumen Jubilar Alberto Benavides, Sociedad Geológica del Perú:279–309

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. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.03.002>

Saintilan NJ, Spangenberg JE, Chiaradia M, Chelle-Michou C, Stephens MB, Fontboté L (2019) Petroleum as source and carrier of metals in epigenetic sediment-hosted mineralization. *Scientific Reports* 9:1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44770-7>

Salih MA (2009) Iron content variations in sphalerite and their effects on reflectance and internal reflections under reflected light. *Arabian Journal of Geosciences* 2:139-142. <https://doi.org/10.1007/s12517-008-0023-z>

Sapalski C, Gómez F (1992) Estudio de la esfalerita de la mina de Aliva Santander (España). *Boletín del Instituto Gemológico Español* 34: 28-39

Savard D (2018) UQAC (Université du Québec à Chicoutimi) FeS-1 data. Data no publicada. <https://sulfideslasericpms.wordpress.com/rm-available/>

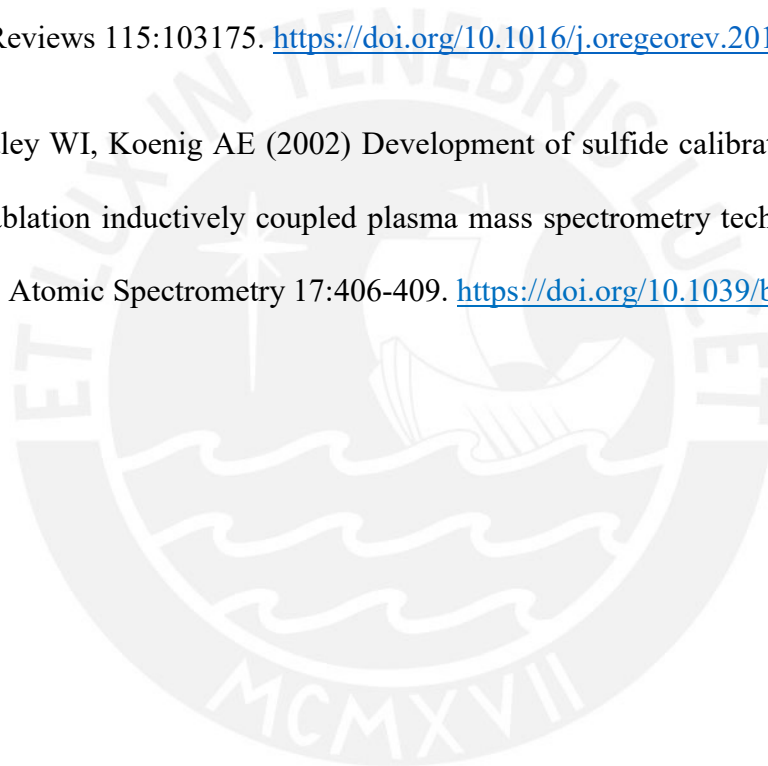
- Scherrenberg AF, Jacay J, Holcombe RJ, Rosenbaum G (2012) Stratigraphic variations across the Marañón Fold-Thrust Belt, Peru: Implications for the basin architecture of the West Peruvian Trough. *Journal of South American Earth Sciences* 38:147-158
- Schutfort E (2001) The genesis of the San Vicente Lead Zinc rhythmite deposit, Peru - a petrologic, geochemical, and sulfur isotope study. Master of Science thesis, Oregon State University
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) (2019) Datos Hidrometeorológicos en Junín.
<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=junin&p=estaciones>
- Shanks III WCP, Kimball BE, Tolcin AC, Guberman DE (2017) Germanium and indium. En: Schulz KJ et al. (eds) *Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply*. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1802, pp I1-I27. <https://doi.org/10.3133/pp1802I>
- SIMSA (Cia. Minera San Ignacio de Morococha S.A.A.) (2019) Mina San Vicente.
<http://www.simsa.com.pe/mina-san-vicente>
- Soler P (1987) Variations des teneurs en éléments mineurs (Cd, In, Ge, Ga, Ag, Bi, Se, Hg, Sn) des minerais de Pb-Zn de la province polymétallique des Andes du Pérou Central. *Mineralium Deposita* 22:135-143. <https://core.ac.uk/download/pdf/39869538.pdf>
- Spangenberg JE, Fontboté L, Macko SA (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. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.94.7.1067>

Spikings R, Reitsma MJ, Boekhout F, Miskovic 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.

<https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.02.008>

Wei C, Ye L, Hu Y, Danyushevskiy L, Li Z, Huang Z (2019) Distribution and occurrence of Ge and related trace elements in sphalerite from the Lehong carbonate-hosted Zn-Pb deposit, northeastern Yunnan, China: Insights from SEM and LA-ICP-MS studies. *Ore Geology Reviews* 115:103175. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103175>

Wilson SA, Ridley WI, Koenig AE (2002) Development of sulfide calibration standards for the laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry technique. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 17:406-409. <https://doi.org/10.1039/b108787h>



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	PESH000001	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

SAN VICENTE									
Muestra	UTM E	UTM N	Longitud	Latitud	Drill core	Profundidad	Veta, lugar	Minerales	Textura, secuencia
2019-SV-01	456758	8758781	-75.396135	-11.228002	4630	492.25- 492.35	Ayala Inferior, Horizonte San Vicente, Zona N, Camara 782 W, Galería 690	ef, gn, dol	Ef+gn. Brecha. Bandas de ef marrón rojizo y marrón amarillento. Granos finos de ef, de color marrón a amarillo, en un agregado de galena. Gn posterior de relleno y reemplazo. Por encima de este conjunto, ef intersticial amarillo parduzco de grano medio y escasa ef marrón. Posteriormente, dolomita entrecrecida con ef marrón.
2019-SV-02	456758	8758781	-75.396135	-11.228002	4630	491.60- 491.80	Ayala Inferior, Horizonte San Vicente, Zona N, Camara 782 W, Galería 690	ef	Bandas de cebrá con ef de color negro a marrón amarillento. Normalmente, las bandas son de color marrón con bordes de ef amarilla.
2019-SV-03	456758	8758781	-75.396135	-11.228002	4630	497.00- 497.05	Ayala Inferior, Horizonte San Vicente, Zona N, Camara 782 W, Galería 690	ef	Ef fina coloforme. Las bandas internas o ef son de color marrón y negro, seguidas por bandas oscuras, luego una pequeña banda de 1 mm de espesor de ef marrón, luego ef de colores marrón amarillento y amarillo parduzco, luego una banda de ef amarilla y finalmente bandas discontinuas de ef marrón

2019-SV-04	456758	8758781	-75.396135	-11.228002	4630	492.85- 492.95	Ayala Inferior, Horizonte San Vicente, Zona N, Camara 782 W, Galería 690	ef, dol, py	Ef de grano grueso bandeada y coliforme. La parte central de ef es de grano medio, marrón a negro, entrecrecida con dolomita, que pasa a zonas coliformes con 8 a 10 mm de espesor con ef gris, intercalada con ef marrón amarillento, 5-10 mm de ef gris intercalada con ef amarillo parduzco y marrón, bordes de menos de 1 mm de espesor de ef marrón, y finalmente 5-10 mm de grosor de ef interna gris y aumento de ef marrón, terminando con ef marrón ligeramente más gruesa y finalmente, dolomita. Py dentro de dolomita.
2019-SV-05	456758	8758781	-75.396135	-11.228002	4630	439.35- 439.45	Ayala Inferior, Horizonte San Vicente, Zona N, Camara 782 W, Galería 690	ef, dol	Ef blanca que forma venas finas, de menos de 1 mm de espesor. Dolomita gris brechada cementada en dolomita blanca. Todo el conjunto está cortado por venas blancas de ef.
2019-SV-06	457233	8761509	-75.39175	-11.203337	4635	166.80- 166.95	Zona Orcopunco, Galería 1275N, Cota 1739	ef, dol	Brechamiento. Dos ef previas a la brecha. Los clastos están cementados por dolomita. Las vetillas de dolomita tardías (<1 mm de grosor) cortan este ensamblaje; cristales gruesos de dolomita con ef oscura (casi negra).
2019-SV-07	457233	8761509	-75.39175	-11.203337	4635	159.80- 159.90	Zona Orcopunco, Galería 1275N, Cota 1739	ef, dol	Ef marrón gruesa. Ef marrón intercalada con ef gris. El color marrón aumenta junto con el tamaño del grano. Seguido de ef marrón amarillenta a amarilla parduzca que forma bordes que también están intercalados con ef gris en cantidades menores. Clastos dentro del cemento de dolomita. Localmente, ef oscura (casi negra).

2019-SV-08	457233	8761509	-75.39175	-11.203337	4635	158.40- 158.50	Zona Orcopunco, Galería 1275N, Cota 1739	ef, dol	Clastos de ef cementados por dolomita. Dentro de los clastos, crecimientos de ef de todos los colores descritos anteriormente (gris, marrón amarillento y oscuro, negro y amarilla parduzco)
2019-SV-09	457233	8761509	-75.39175	-11.203337	4635	149.35- 149.55	Zona Orcopunco, Galería 1275N, Cota 1739	ef, dol, cc	Ef en caliza rica en materia orgánica, oscura. Vena que corta la caliza con ef en clastos. En las partes internas de los clastos, ef marrón, y la parte externa es de ef más fina y marrón amarillenta; esta ef está brechada y rellena con venas de dolomita.
2019-SV-10	457233	8761509	-75.39175	-11.203337	4635	157.50- 157.60	Zona Orcopunco, Galería 1275N, Cota 1739	ef, py, gn, dol	Fragmentos de dolomita negra (rica en materia orgánica) enriquecida en py. Fragmentos de brecha de dolomita negra con reemplazamientos y venillas de pirita de grano muy fino. El conjunto cementado por dolomita. Dolomita de color gris cortada por finas vetas (<1 mm de espesor) de blanco a gris pálido de ef. El cemento ha sido brechado y cementado nuevamente por dolomita blanca y cantidades menores de galena. Finalmente, vetas de dolomita blanca cortan todo el conjunto (incluidos los clastos). Se identifican al menos tres generaciones de dolomita.

2019-SV-11	456758	8758910	-75.396133	-11.226835	4670	480.10-480.25	Zona N, Cámara 8909W, Galería 690, Cota 1529	ef, gn, dol	Bandas brechadas. Las bandas fueron reemplazadas en parte por ef de grano fino de color gris pálido a marrón (reemplaza a los clastos y se concentra a lo largo de los contornos de los clastos). Por encima de este ef, ha crecido una ef marrón. Cemento de dolomita con cristales gruesos de color gris, que pasan a dolomita blanca. Galena con líneas grises de dolomita y formando vetillas, lo que sugiere que es posterior a la dolomita blanca.
2019-SV-12	456758	8758910	-75.396133	-11.226835	4670	480.80-480.95	Zona N, Cámara 8909W, Galería 690, Cota 1529	ef, dol, gn	Similar a la muestra 2019-SV-11. Dolomita negra cementada por ef marrón, que se intercalan con ef negra. Cemento de dolomita gris pálido que se clasifica como dolomita blanca. Granos de galena en dolomita gris.
2019-SV-13	4578287	8758775	-75.386333	-11.228069	4714		Zona N, Rampa 630, Cota 1475	ef, dol	Ef naranja a amarillo anaranjado que reemplazó a la dolomita negra. Ef formando agregados de granos de 2-4 mm de tamaño. La última ef es de color amarillo intenso. La dolomita blanca cementa este ensamblaje.
2019-SV-14	4578287	8758775	-75.386333	-11.228069	4714		Zona N, Rampa 630, Cota 1475	ef	Similar a la muestra 2019-SV-13 y una zona de ef amarillo (más reciente).
2019-SV-15					Galería		Ayala inferior, Tajo 632	ef, dol	Ef naranja a roja (greenockita?)
2019-SV-16					Galería		Frente 8093, horizonte San Viente, Manto IIIS	ef, dol	Bandas de cebrá, con ef marrón oscuro (1)

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

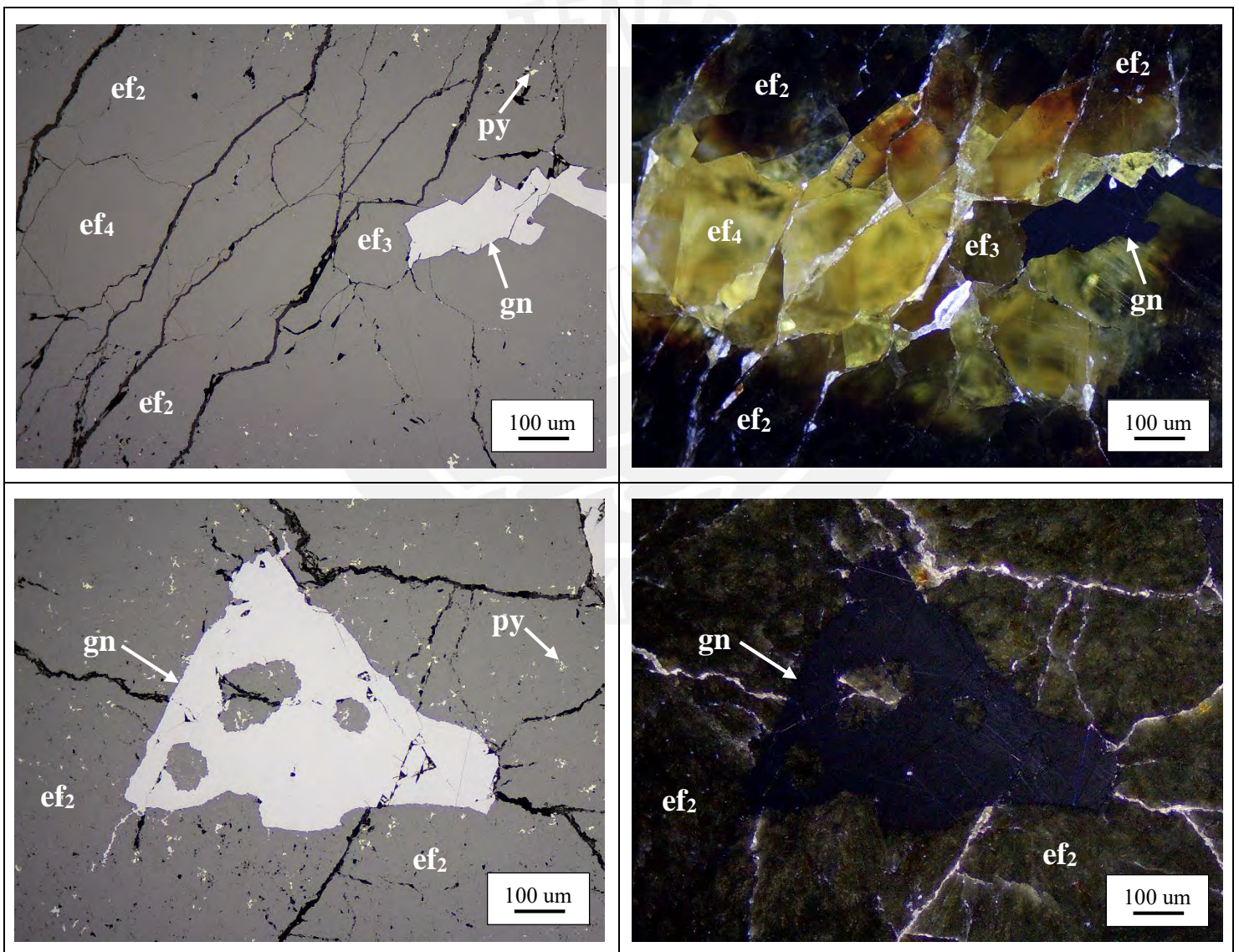
SAN VICENTE

SV-01

Mineralogía: ef₂ + ef₃ + ef₄ + dol + gn

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 2 (ef₂; reflejos internos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef₃; reflejos internos marrón amarillento) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef₄; reflejos internos amarillo parduzco). Cristales de galena (gn) que han reemplazado a los cristales de esfalerita mencionados y pirita (py) diseminada. Se observa dolomita (dol) intersticial.

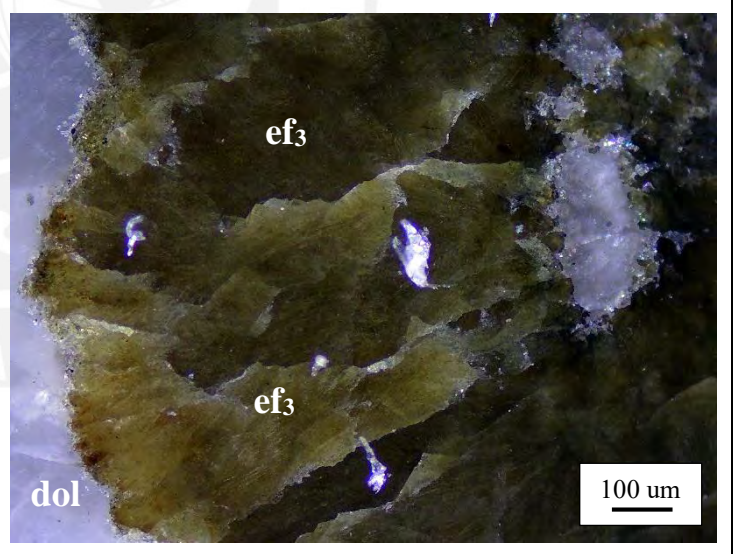
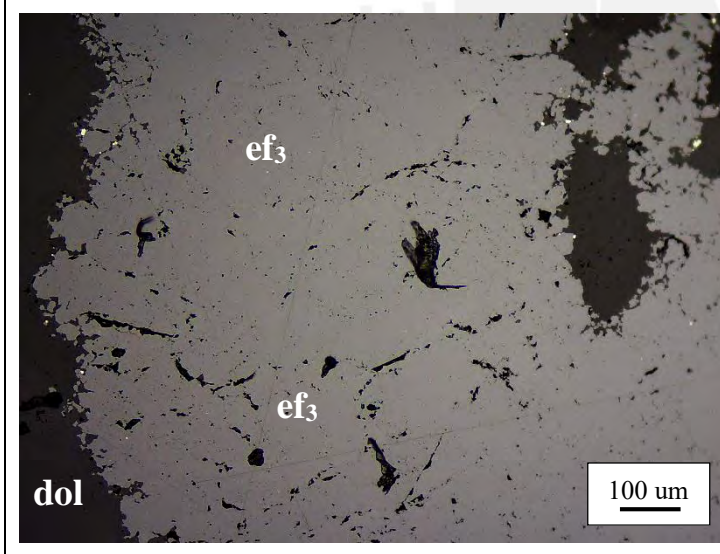
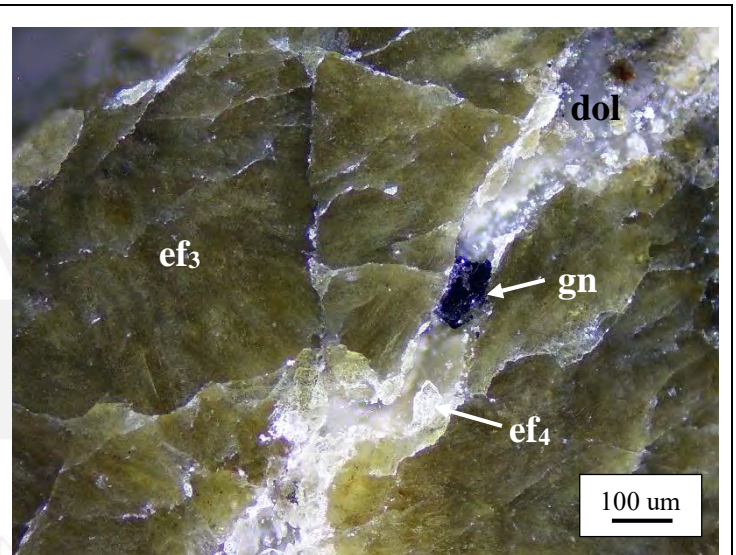
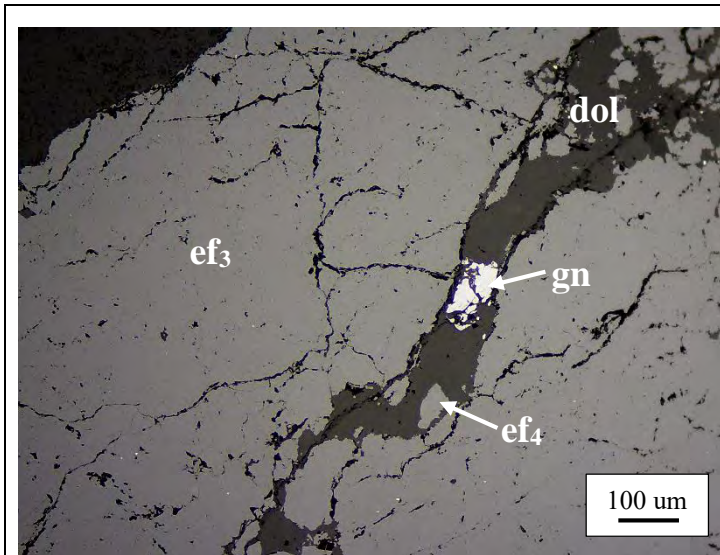


SV-02

Mineralogía: ef3 + ef4 + dol ± gn

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 3 (ef3; reflejos internos marrón amarillento) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef4; reflejos internos amarillo parduzco) y por dolomita (dol), a partir de intersticios y fracturas. Cristales anhedrales de galena (gn) en dol.

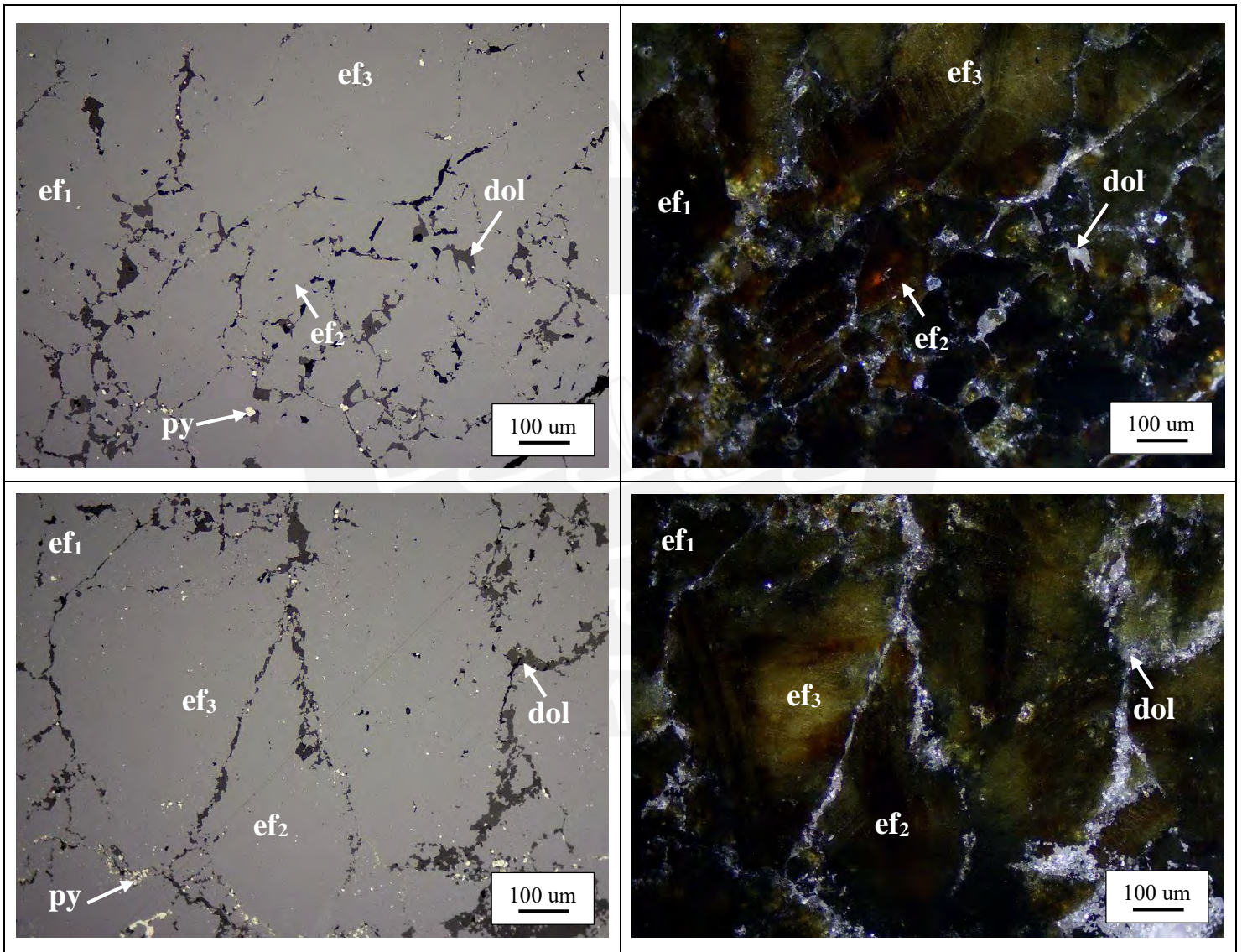


SV-03

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 \pm dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido reemplazados o superpuestos por dolomita (dol) a partir de intersticios. Cristales de pirita (py) diseminados y rellenando intersticios y oquedades.

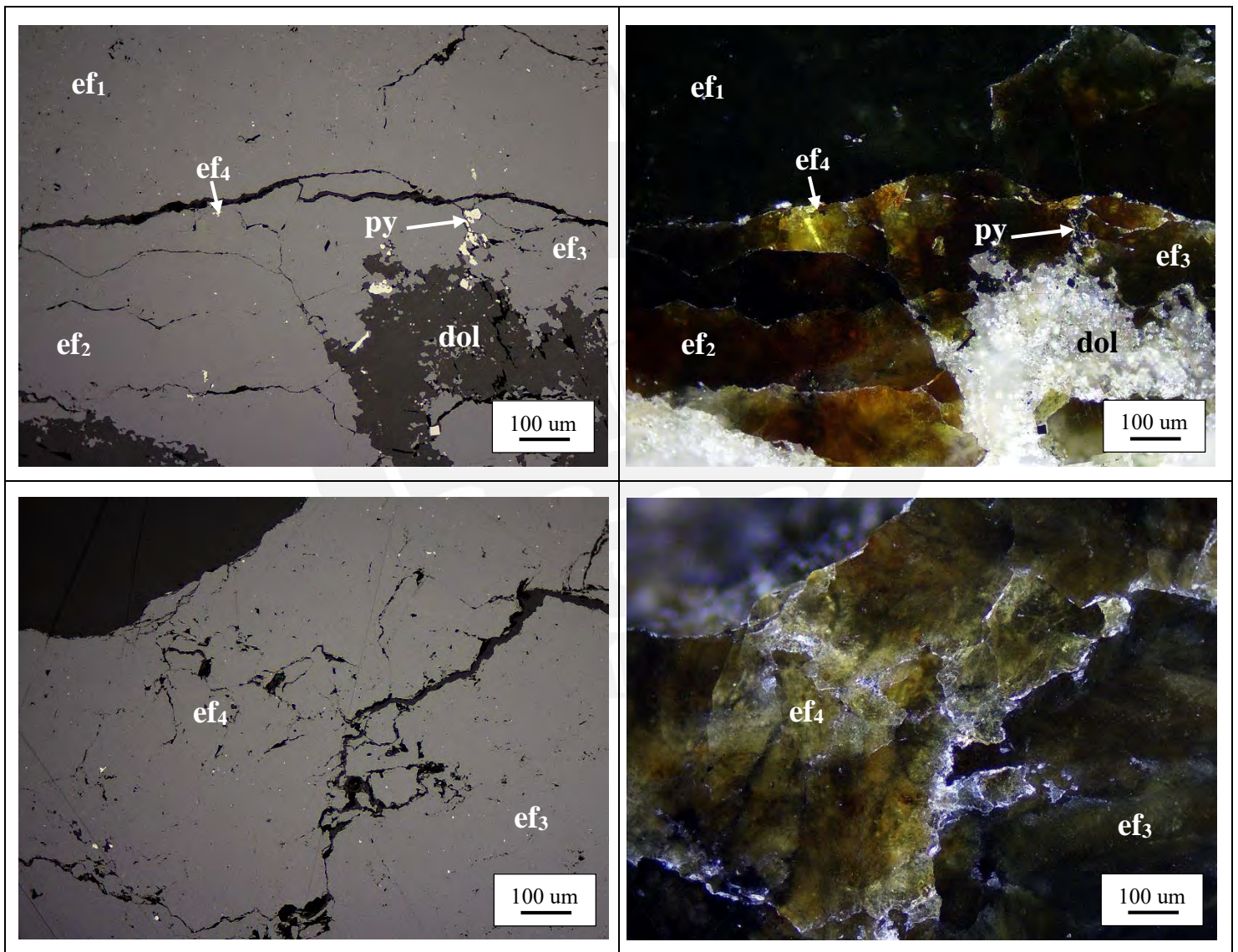


SV-04

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 + dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido reemplazados por agregados de esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de pirita (py) en oquedades y diseminados en esfalerita. Se observa reemplazamiento de los agregados de esfalerita por dolomita (dol).

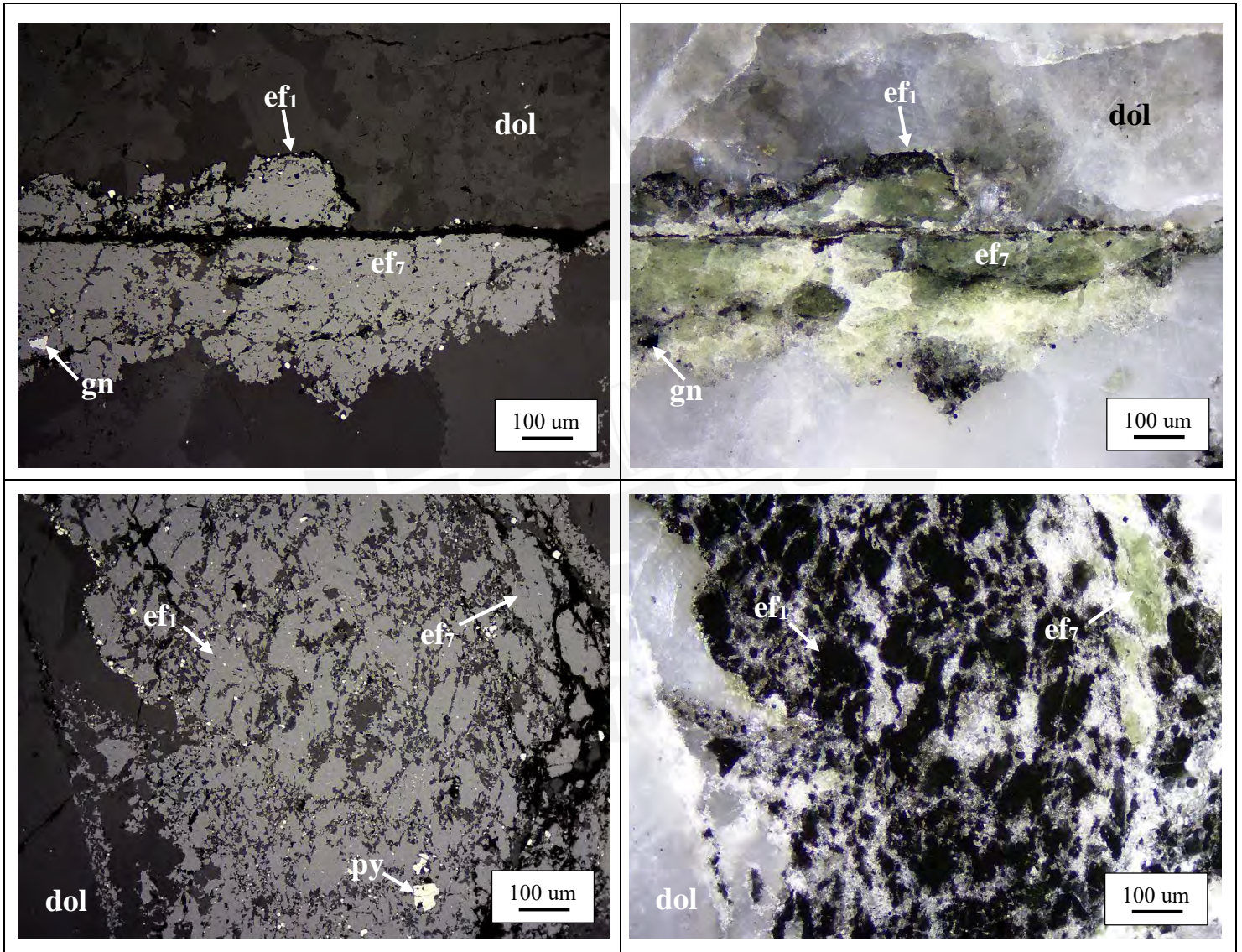


SV-05

Mineralogía: $ef_1 + ef_7 + dol \pm py \pm gn$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 : color negro con ausencia de reflejos internos) que han sido reemplazados por esfalerita 7 (ef_7 ; reflejos blancos). Cristales de pirita (py) diseminados en esfalerita y cristales de galena (gn) en oquedades. Se observa reemplazamiento de esfalerita por dolomita (dol).

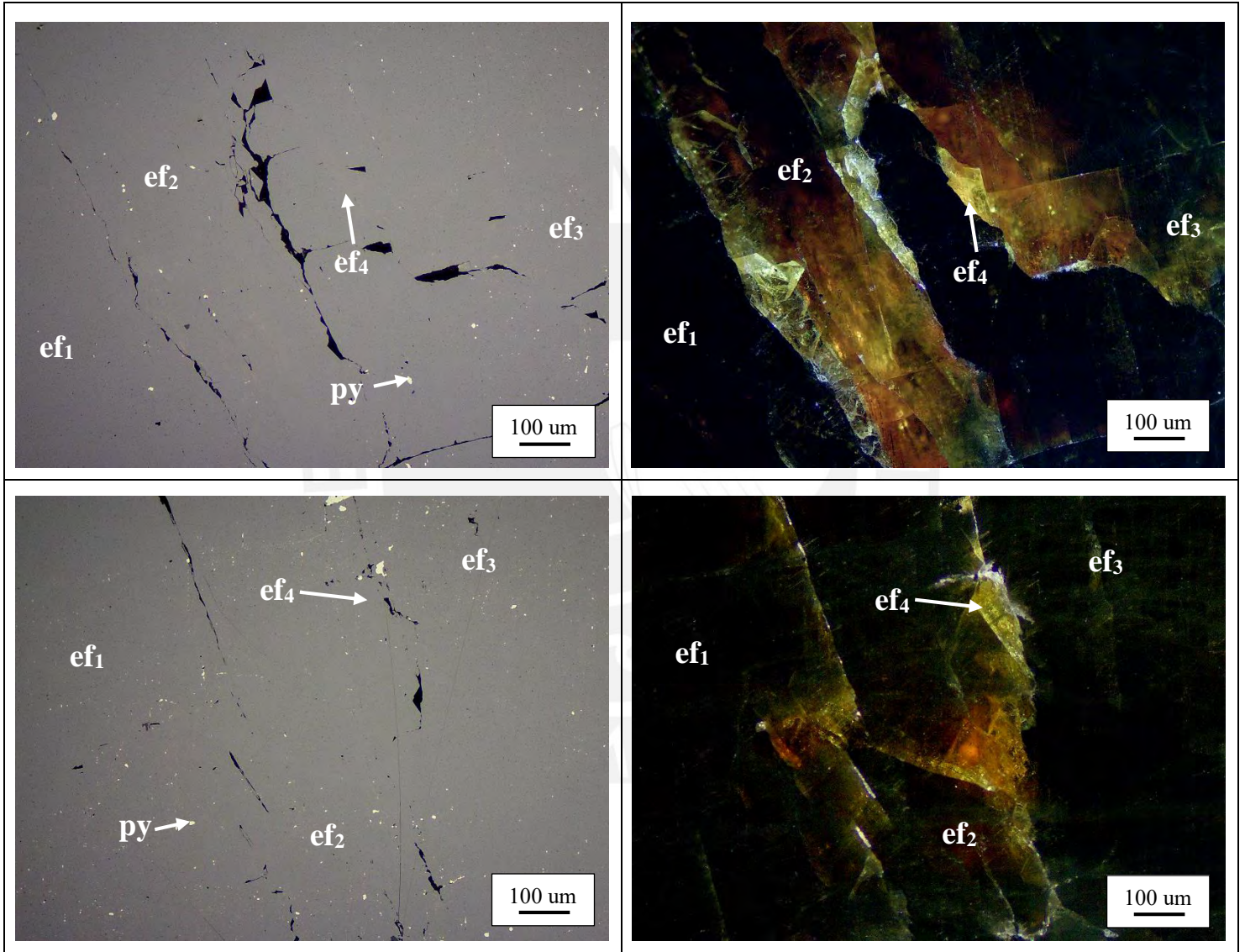


SV-06A

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 \pm dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido cortados y reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de pirita (py) disseminados en todo el conjunto y dolomita (dol) en intersticios.

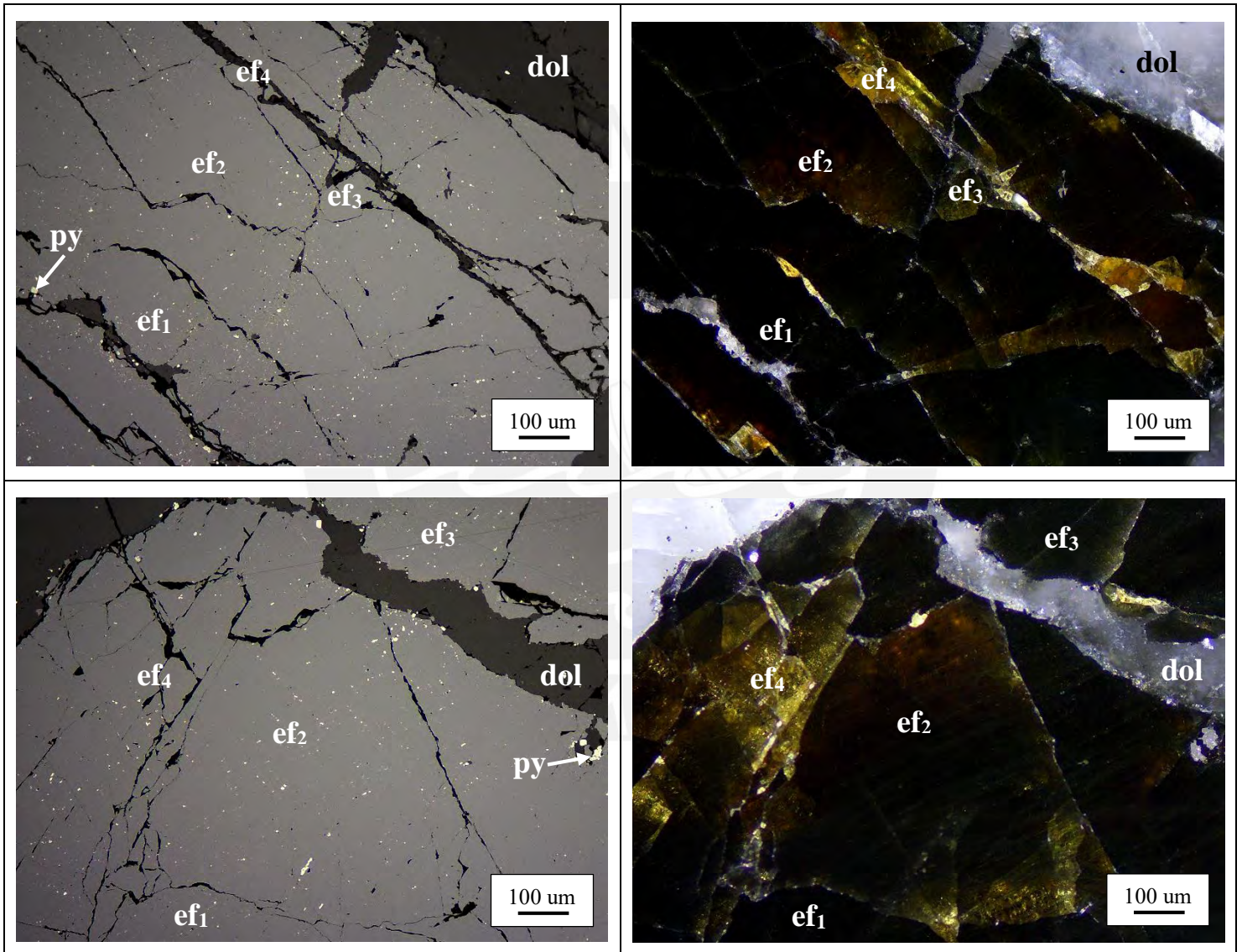


SV-06B

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 + dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos internos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos internos amarillo parduzco). Cristales diseminados de pirita (py) en todo el conjunto y cristales de esfalerita cortados y reemplazados por dolomita (dol).

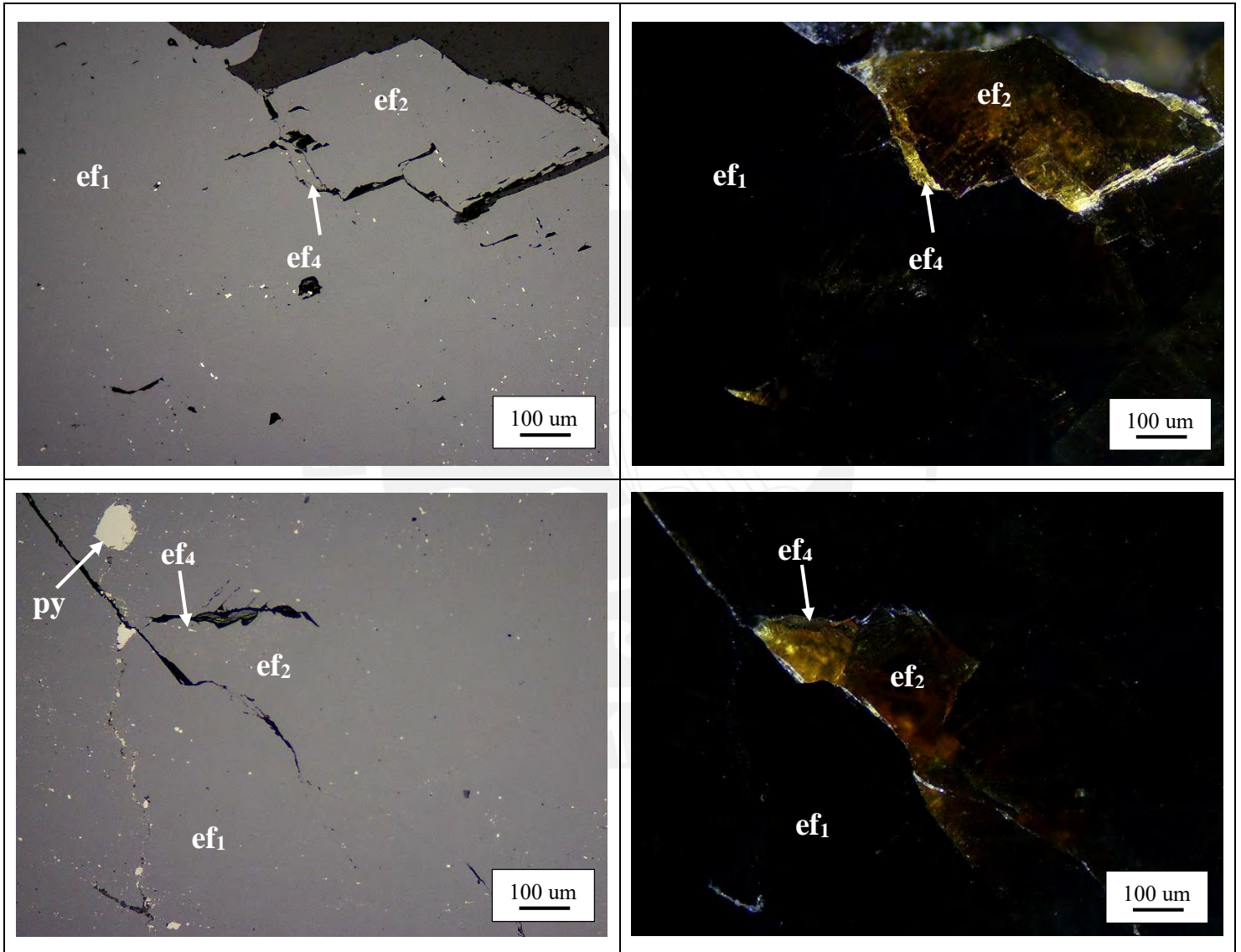


SV-07

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_4 + dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos) y esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de pirita (py) en oquedades y microfracturas. El conjunto se encuentra en matriz de dolomita (dol).

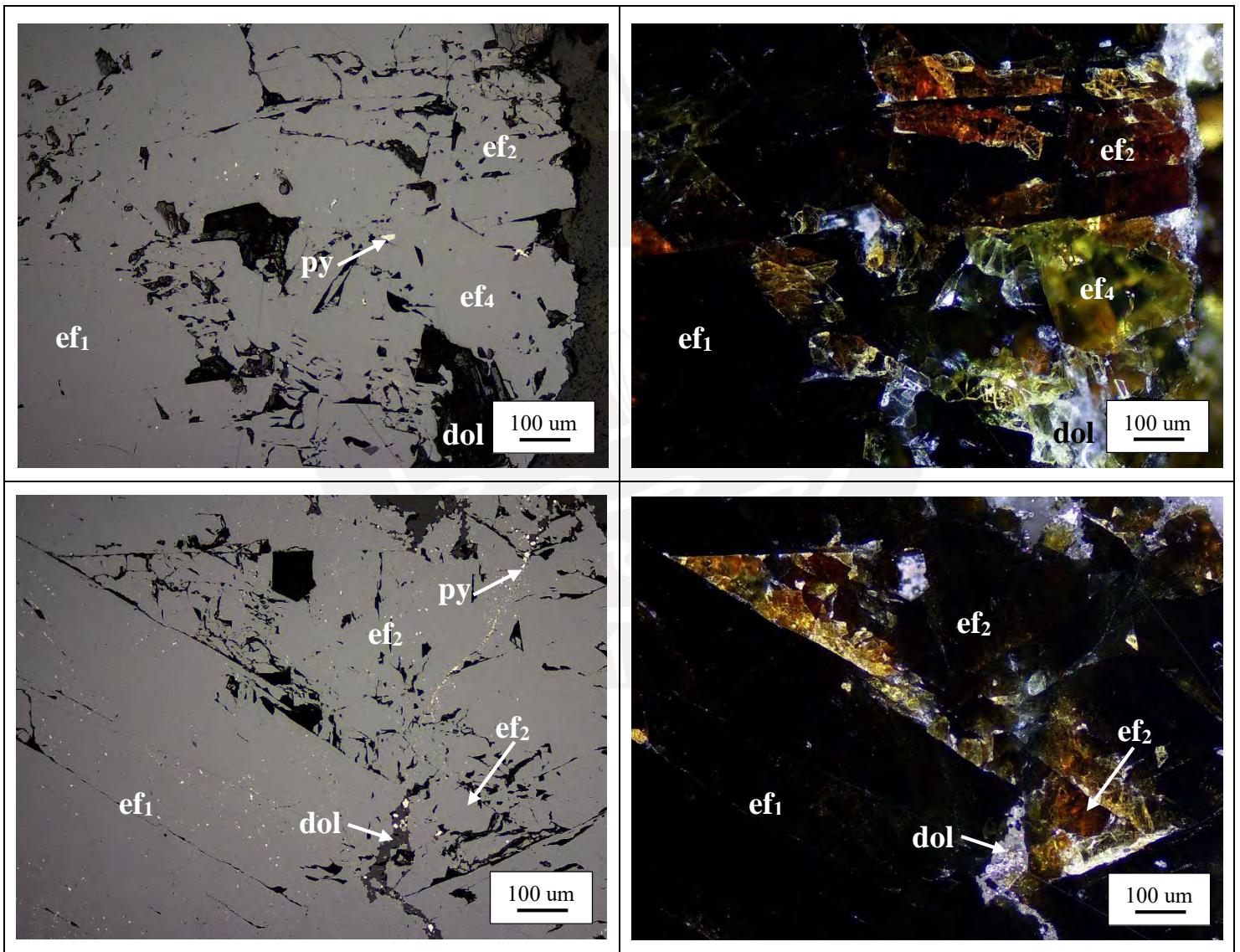


SV-08A

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_4 \pm dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos) y esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo). Ambos han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de pirita (py) disseminados y en microfracturas. Se observa reemplazamiento de esfalerita por dolomita (dol).

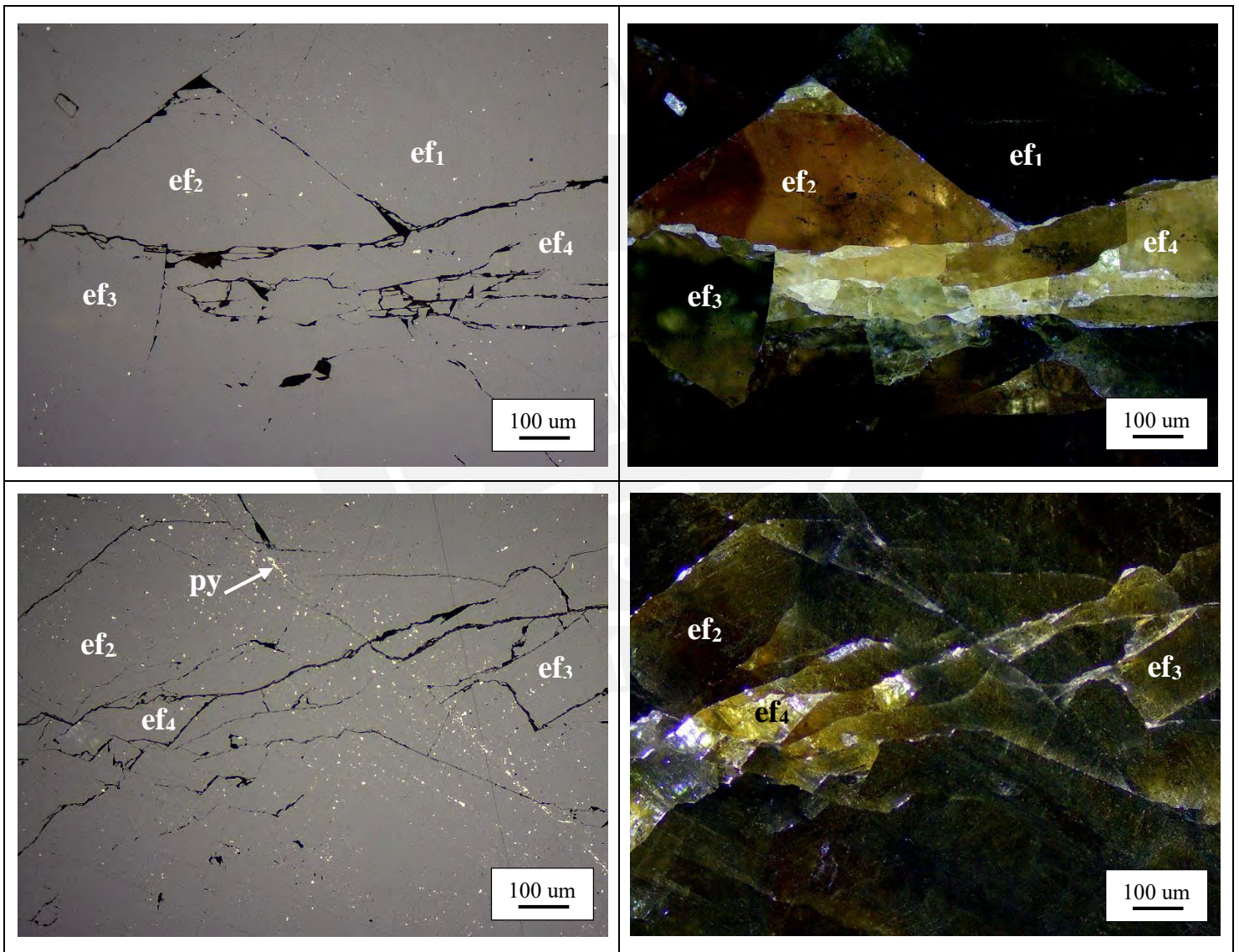


SV-08B

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 + dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales-subhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido cortados y reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de pirita (py) diseminados y en microfracturas. Se aprecia dolomita (dol) en los intersticios de todo el conjunto.

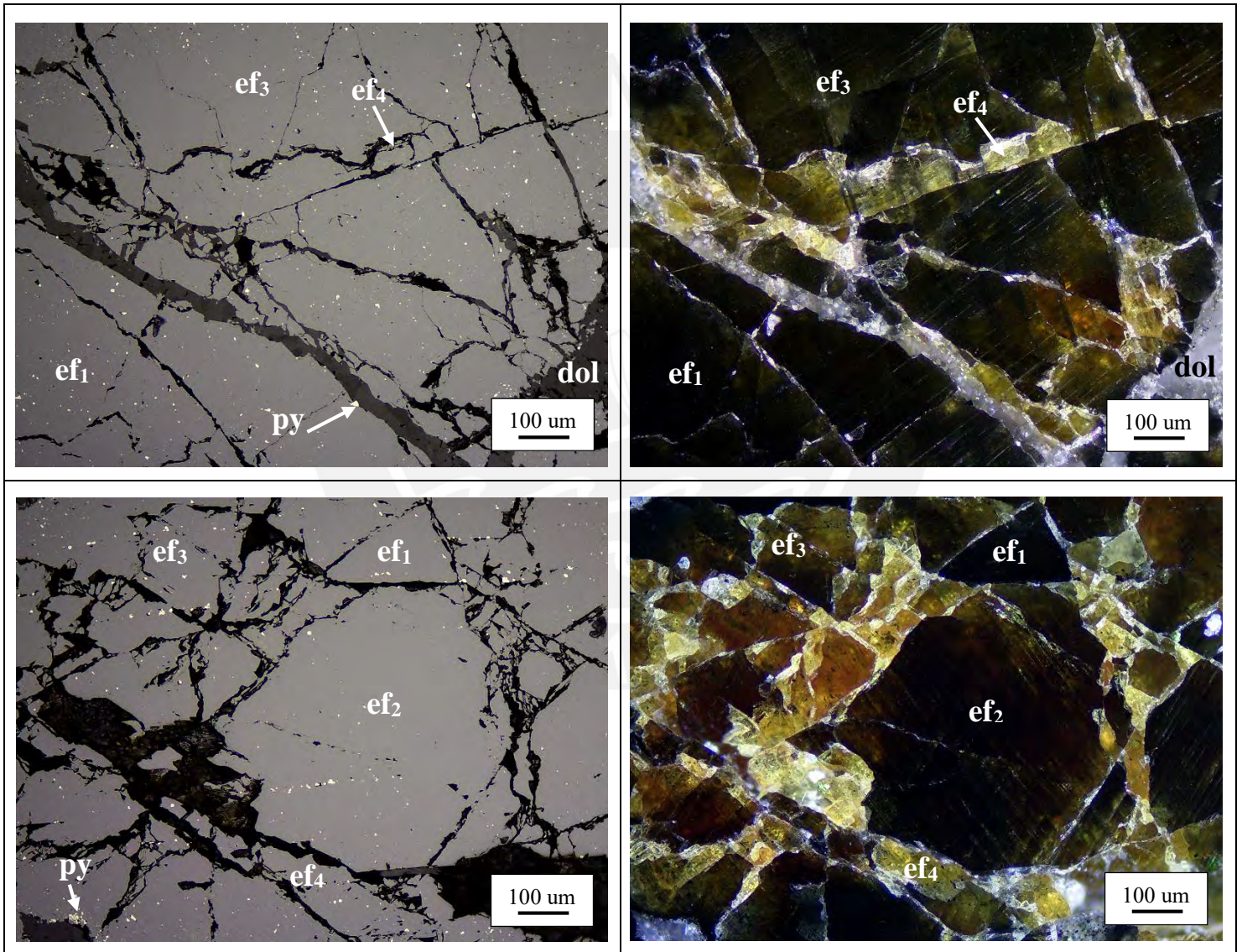


SV-09

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 \pm dol \pm py$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento). El conjunto ha sido cortado y reemplazado por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco) y dolomita (dol). Se aprecian cristales diseminados de pirita (py).

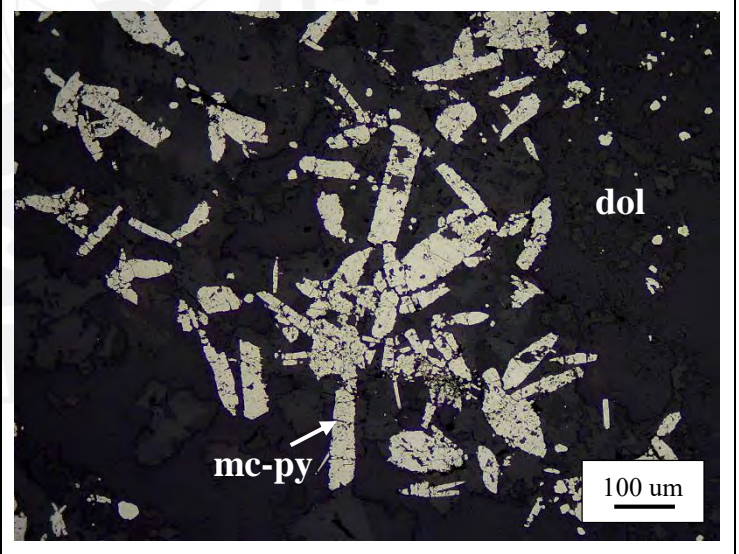
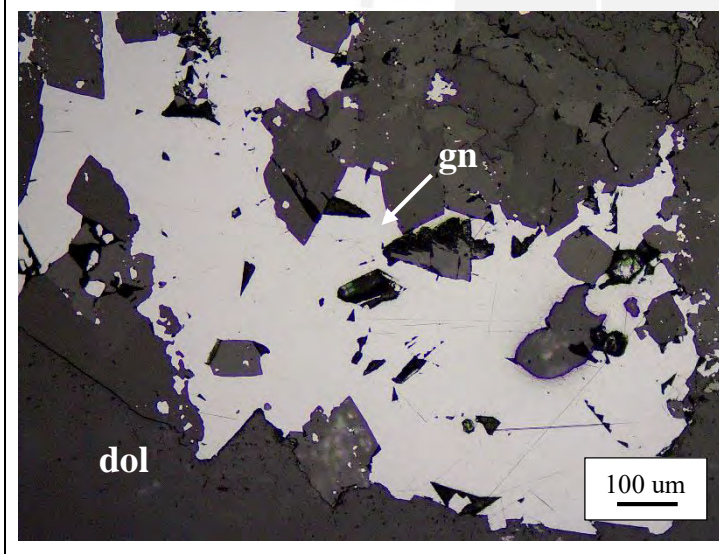
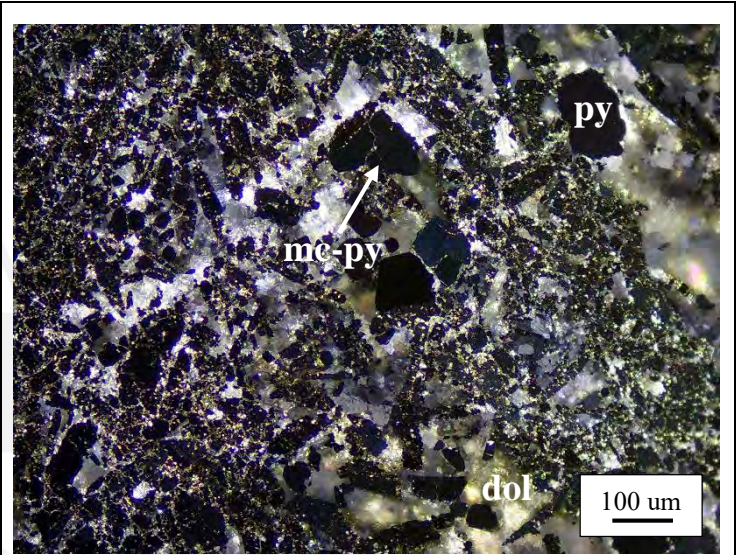
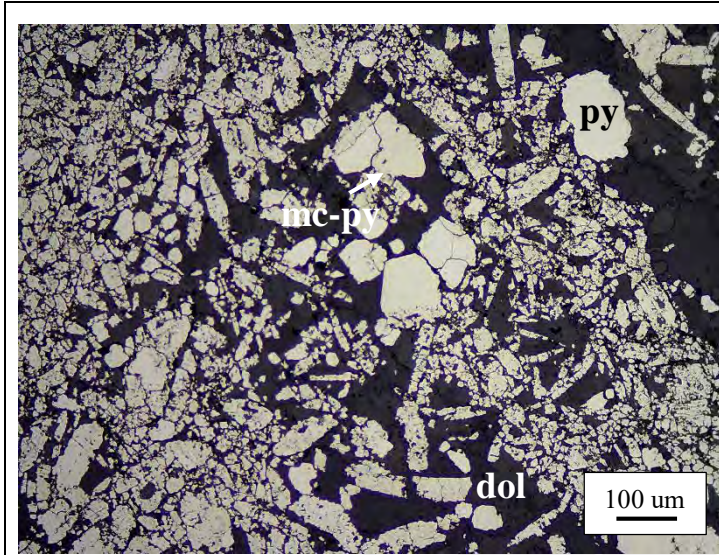


SV-10

Mineralogía: mc-py + py + gn + dol

Descripción:

Agregados subhedrales de pirita (py) pseudomorfa de marcasita (mc). Cristales diseminados de pirita y cristales anhedrales de galena (gn) localizados en matriz de dolomita (dol).

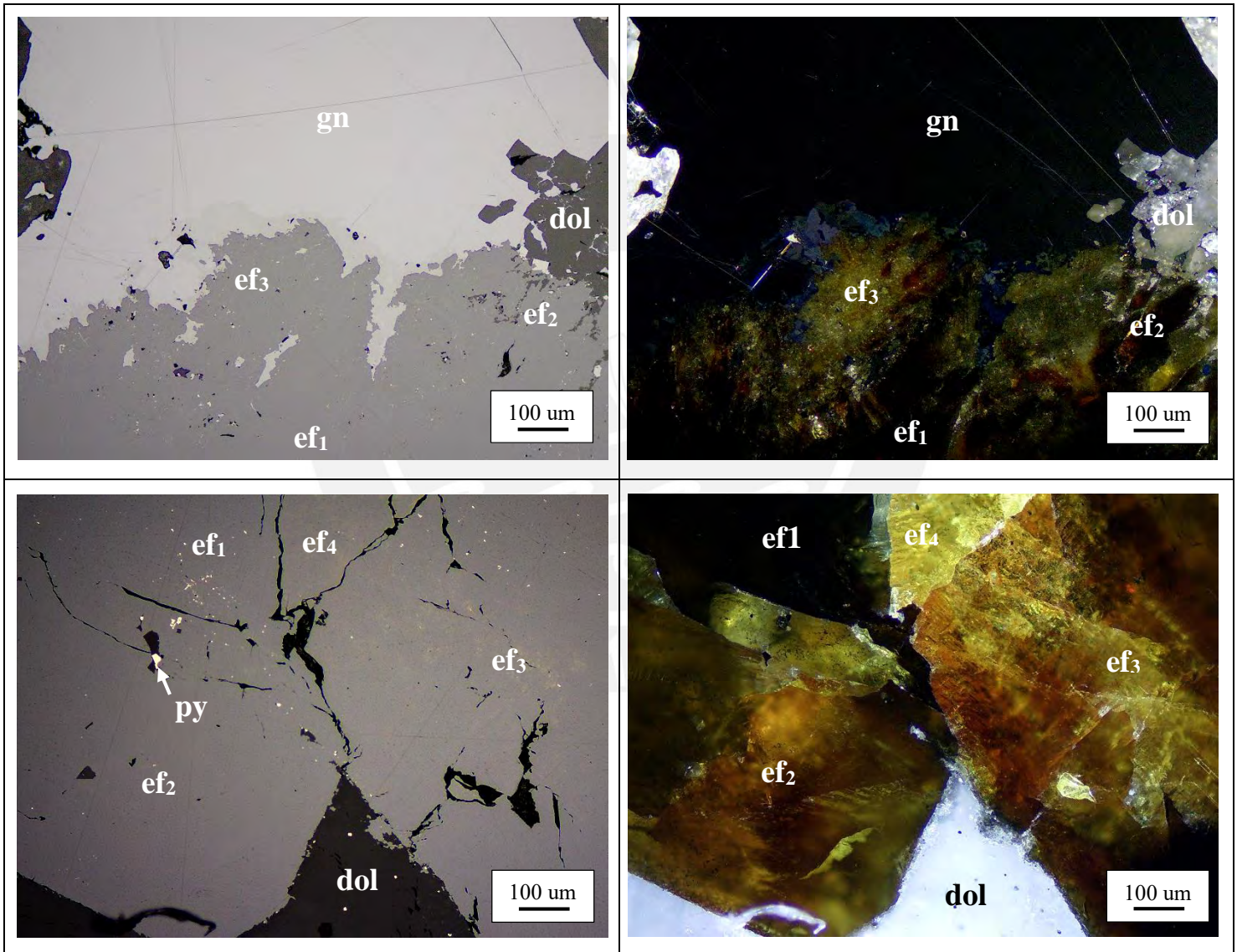


SV-11A

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 + gn \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de galena (gn) que han reemplazado a los agregados de esfalerita y cristales de pirita (py) disseminados y en oquedades. Se aprecia dolomita (dol) que reemplaza el conjunto.

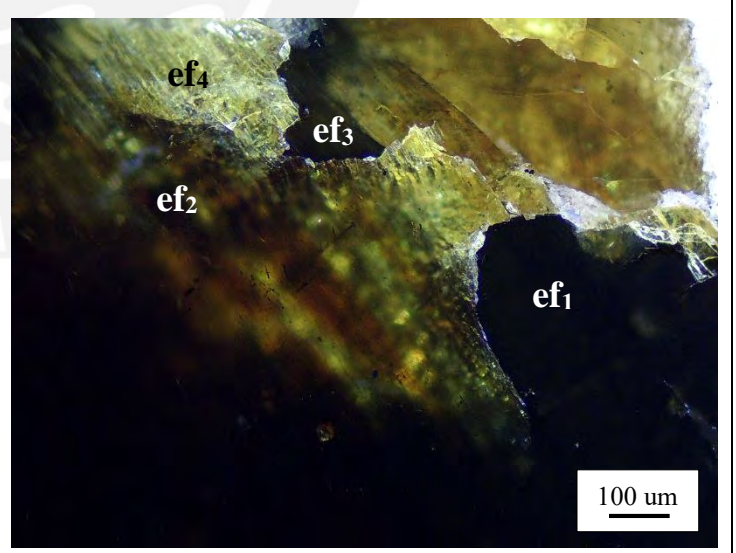
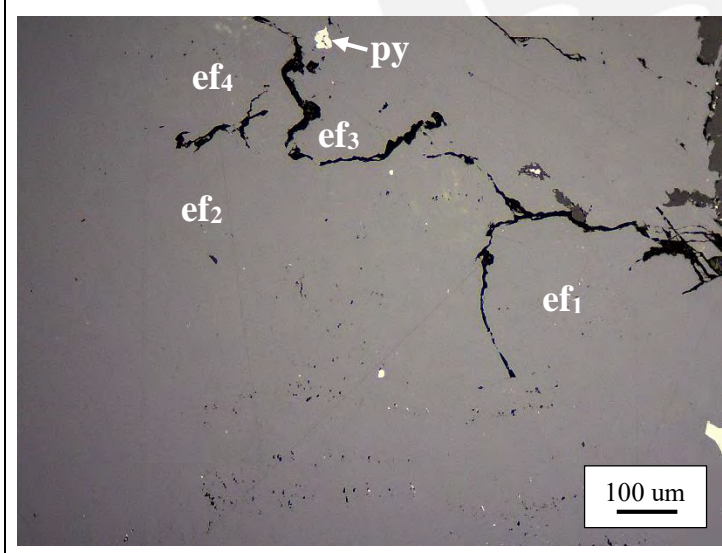
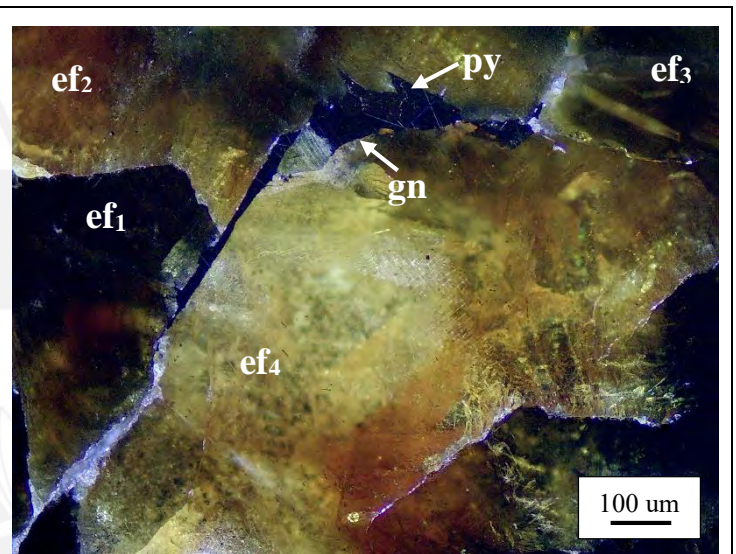
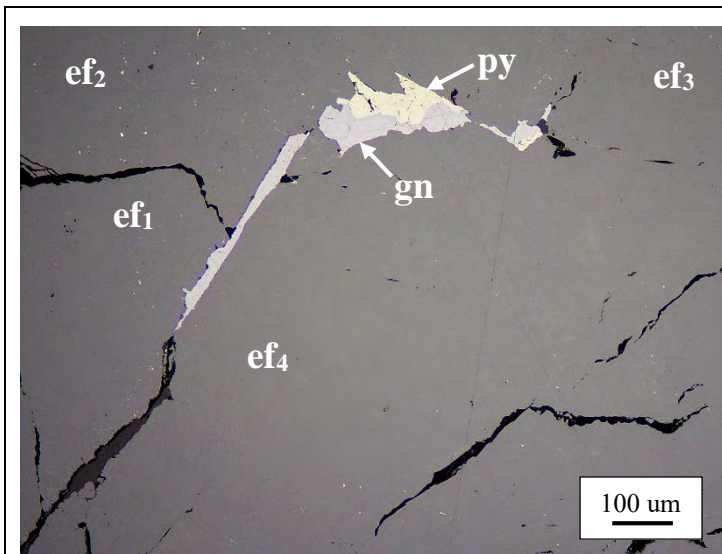


SV-11B

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 \pm gn \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) que han sido reemplazados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de galena (gn) como reemplazo y en oquedades y fracturas de esfalerita y cristales de pirita (py) como reemplazo y diseminados. Se aprecia dolomita (dol) en los intersticios del conjunto.

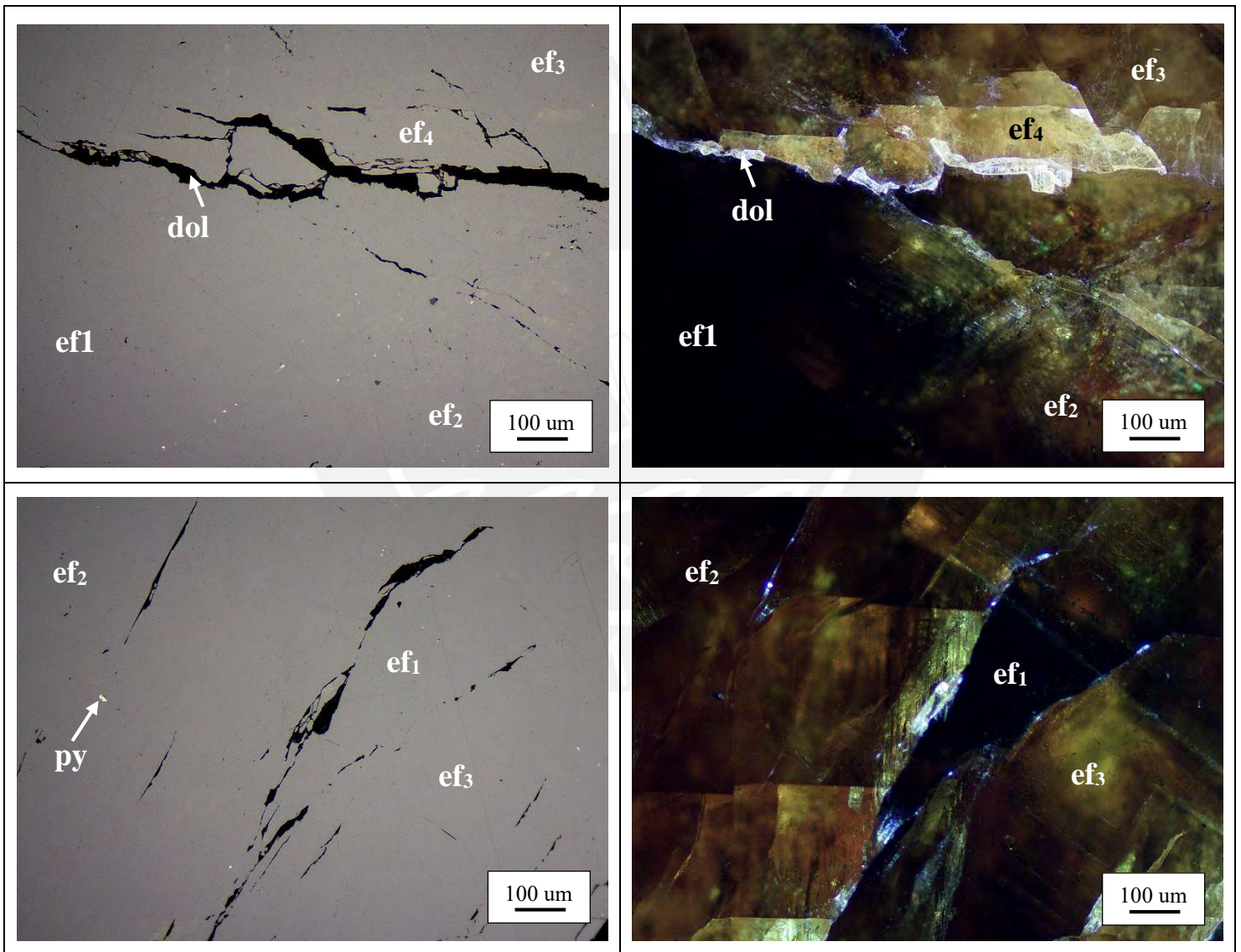


SV-11C

Mineralogía: $ef_1 + ef_3 + ef_3 + ef_4 \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_3 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento). Han sido reemplazados y cortados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales diseminados de pirita (py) y dolomita (dol) en los intersticios del conjunto.

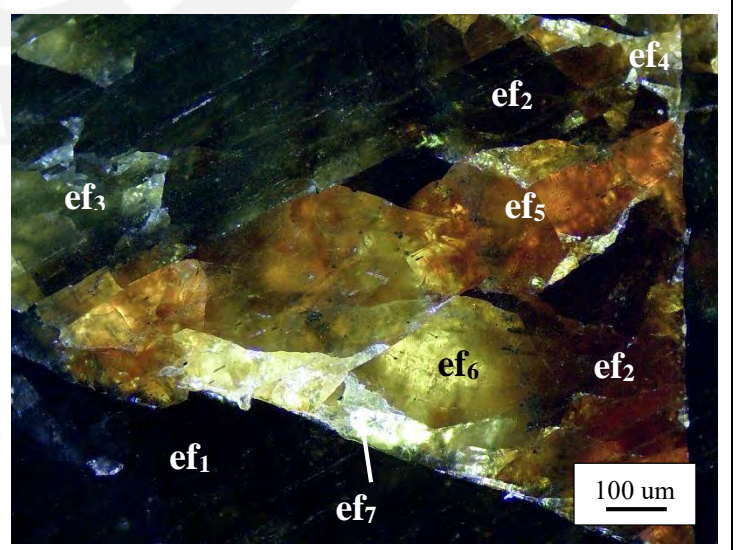
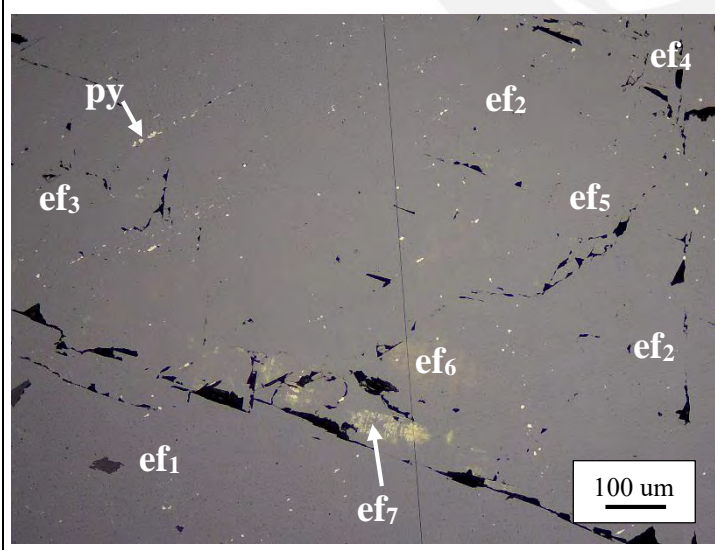
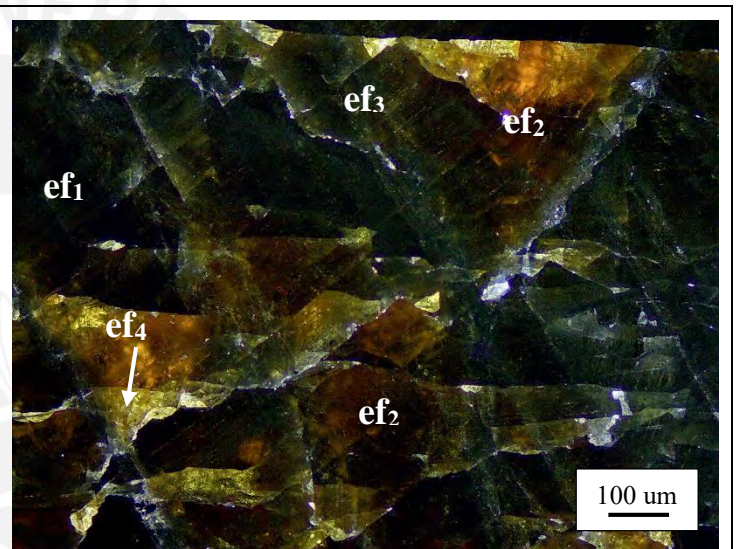
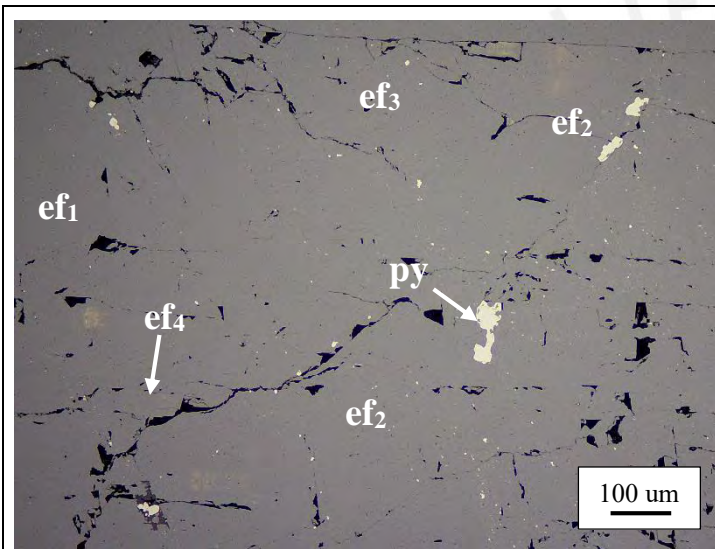


SV-12A

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 + ef_5 + ef_6 + ef_7 \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento). Han sido reemplazados y cortados por una esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). El conjunto ha sido reemplazado y cortado por agregados de esfalerita 5 (ef_5 ; reflejos naranjas), esfalerita 6 (ef_6 ; reflejos amarillos) y esfalerita 7 (ef_7 ; reflejos blancos). Cristales de pirita (py) diseminados en oquedades de esfalerita y dolomita (dol) en los intersticios del conjunto.

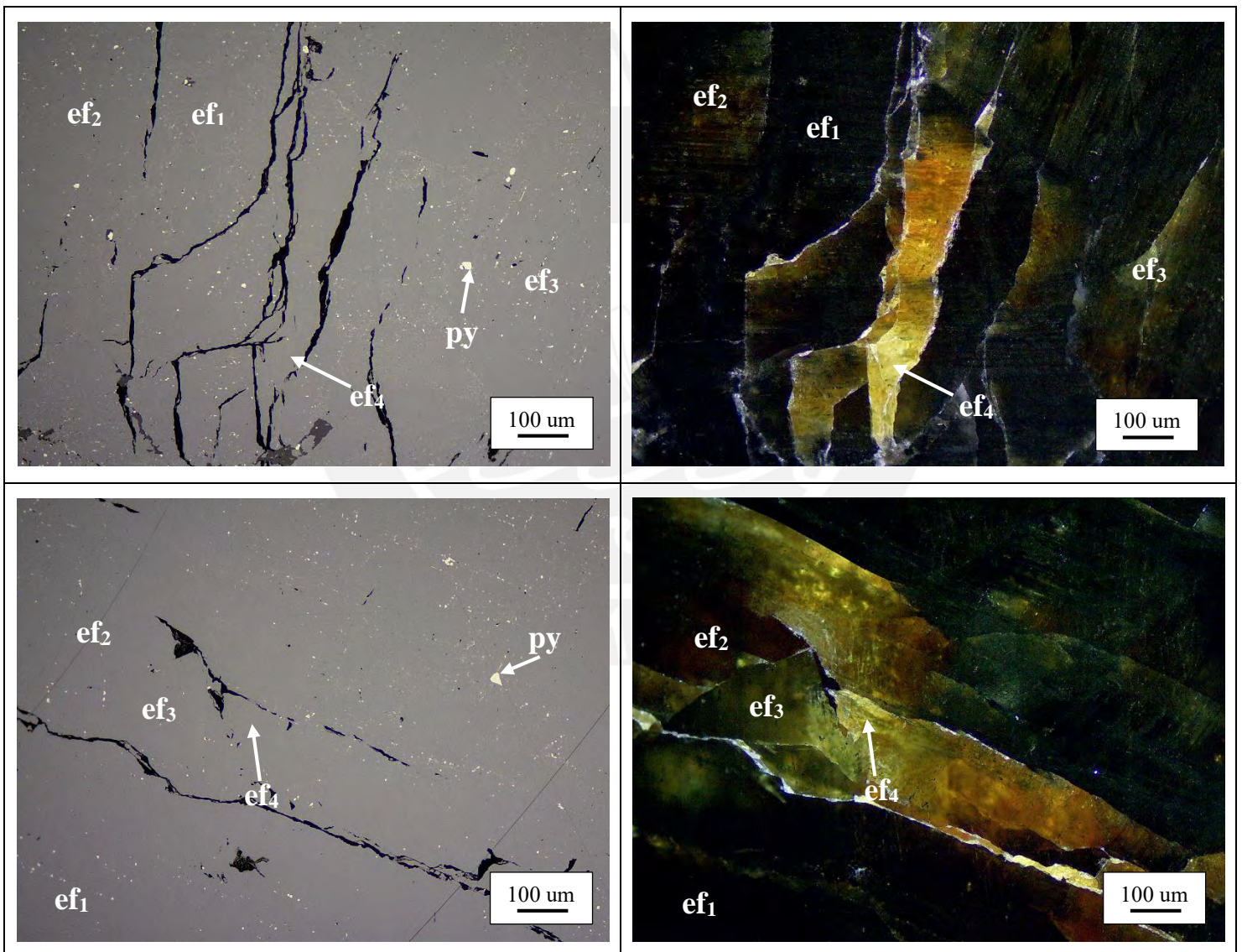


SV-12B

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos), esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) y esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento), que han sido reemplazados y cortados por esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzo). Cristales diseminados de pirita (py) en todo el conjunto y reemplazamiento de dolomita (dol) a partir de intersticios de la esfalerita.

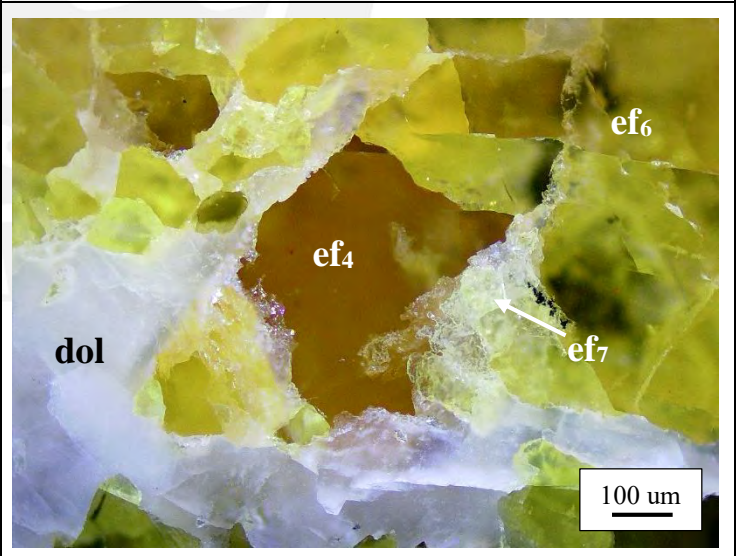
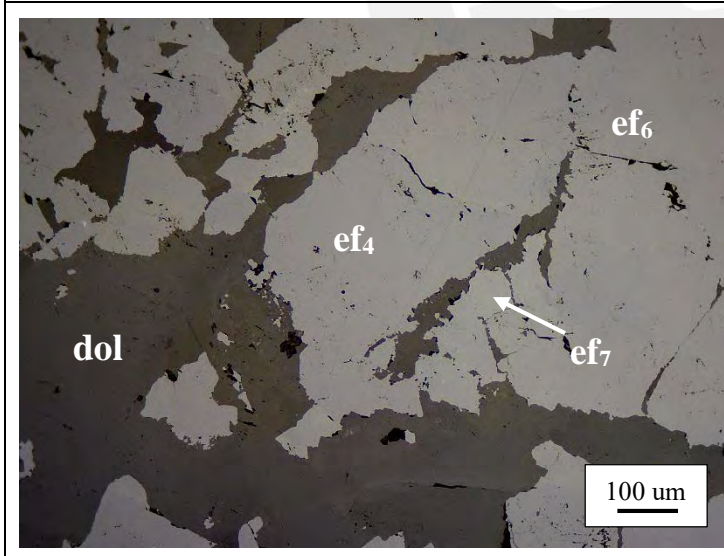
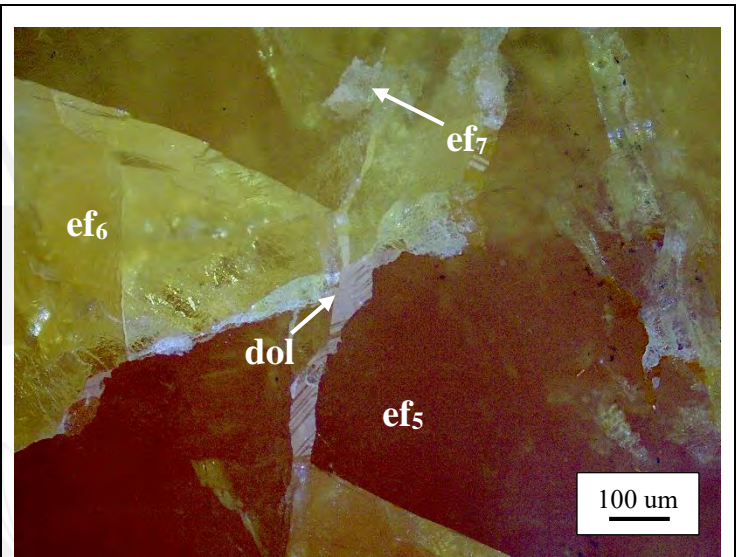
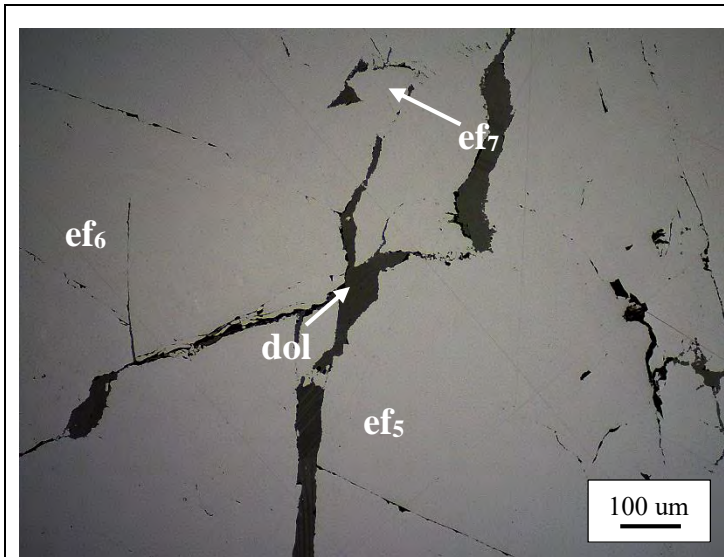


SV-13

Mineralogía: ef₄ + ef₅ + ef₆ + ef₇ + dol

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 4 (ef₄; reflejos internos marrón amarillento) y esfalerita 5 (ef₅; reflejos naranjas) que han sido reemplazados por esfalerita 6 (ef₆; reflejos internos amarillos) y esfalerita 7 (ef₇; reflejos blancos). Se observa reemplazamiento de los agregados de esfalerita por dolomita (dol), a partir de intersticios y bordes.

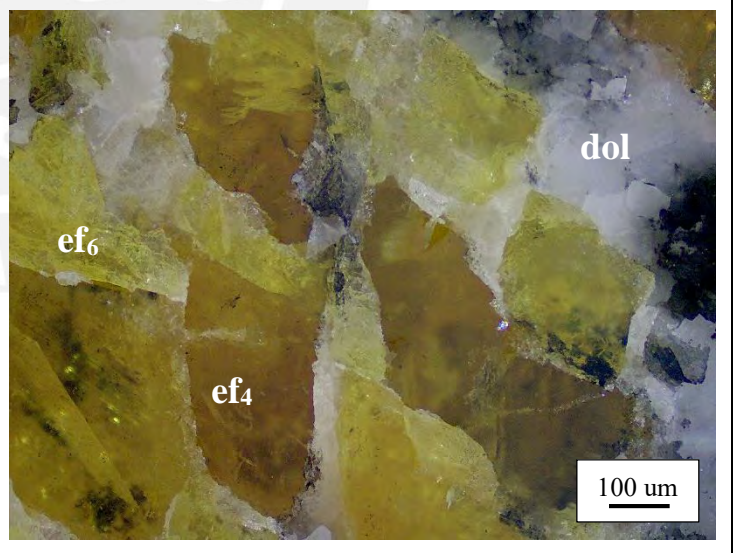
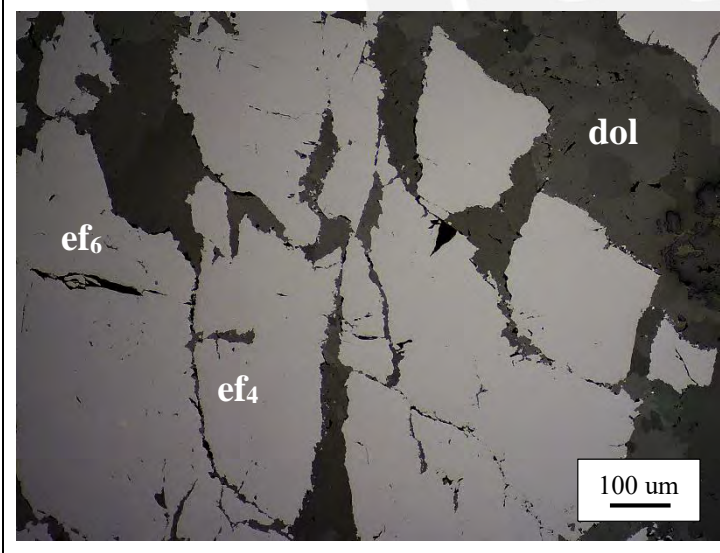
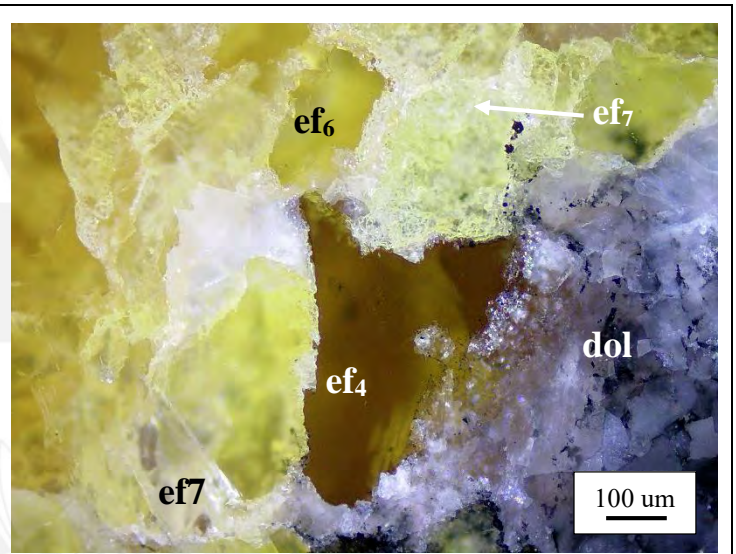
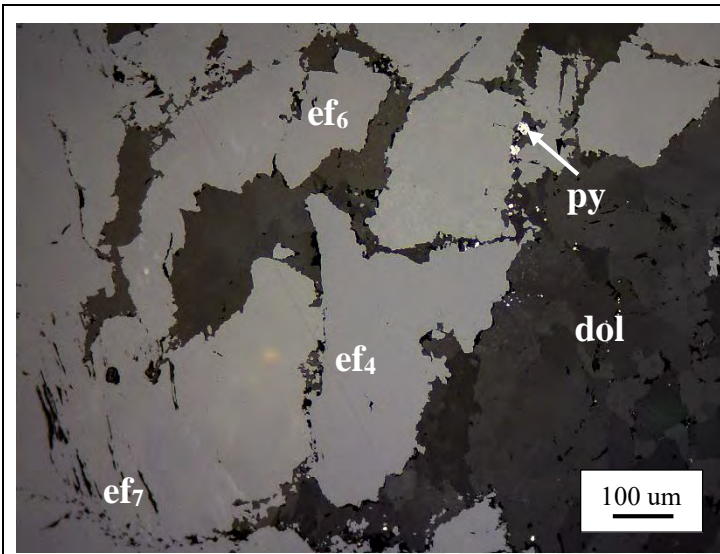


SV-14

Mineralogía: ef₄ + ef₆ + ef₇ + dol ± py

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 4 (ef₄; reflejos internos amarillo parduzco), reemplazados por esfalerita 6 (ef₆; reflejos amarillos) y esfalerita 7 (ef₇; reflejos blancos). Cristales de pirita (py) diseminados en dolomita (dol) y en bordes de esfalerita. Reemplazamiento de los agregados de esfalerita por dolomita.

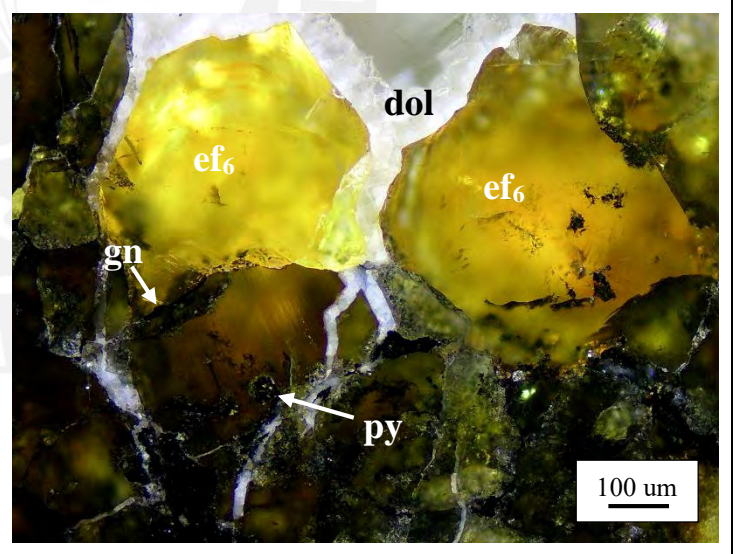
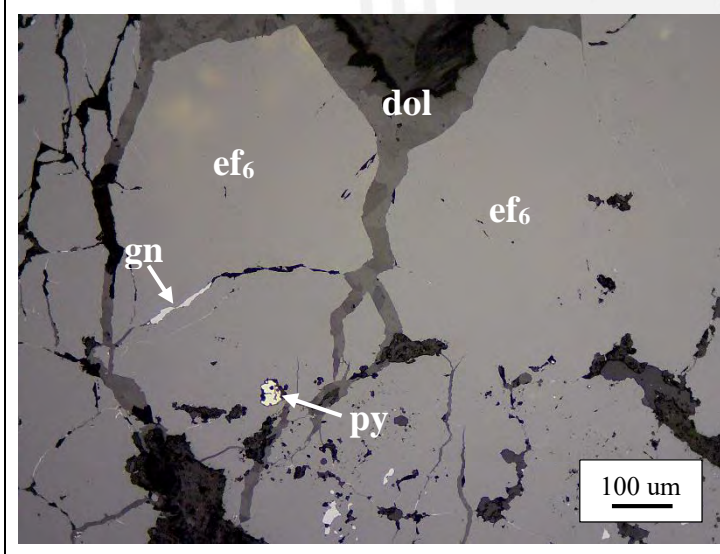
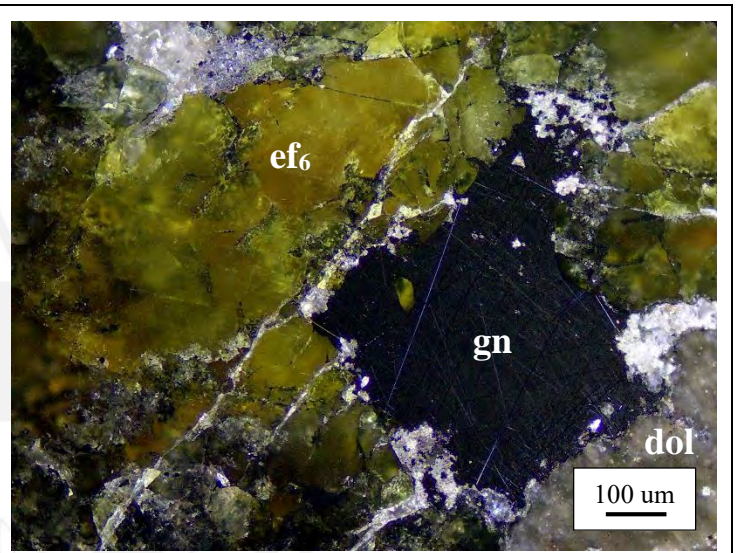
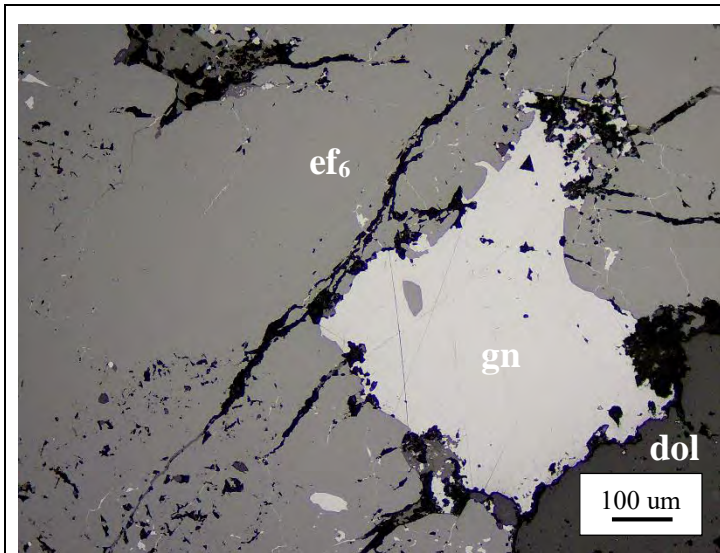


SV-15A

Mineralogía: ef₆ + gn + dol

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 6 (ef₆; reflejos internos amarillos) y cristales de galena (gn) como reemplazo y diseminados en esfalerita. Cristales de pirita en oquedades y reemplazamiento de esfalerita por dolomita (dol).

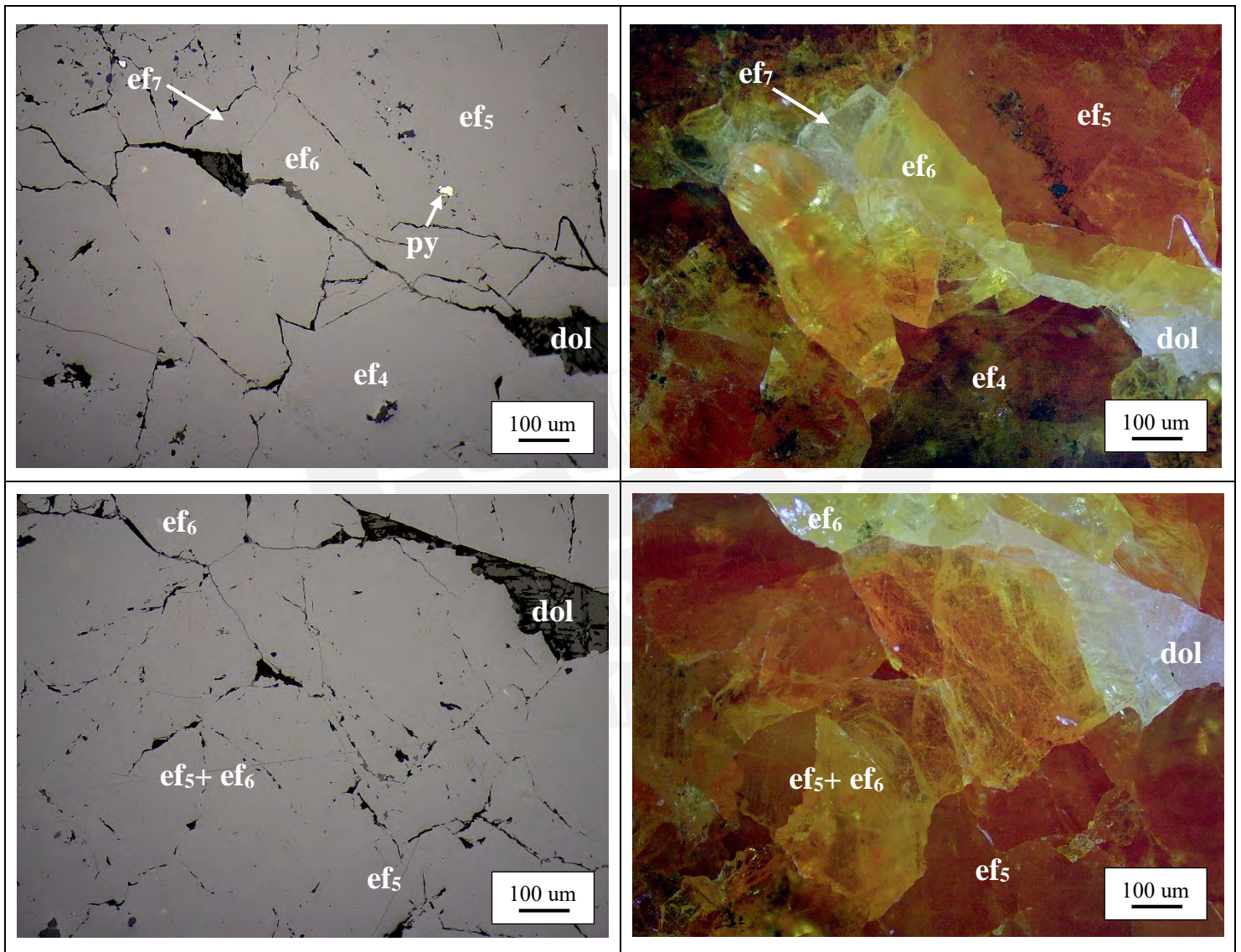


SV-15B

Mineralogía: $ef_5 + ef_6 + ef_7 \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 5 (ef_5 ; reflejos anaranjados), reemplazados y cortados por esfalerita 6 (ef_6 ; reflejos amarillos) y esfalerita 7 (ef_7 ; reflejos blancos). Cristales de pirita (py) en oquedades de esfalerita y reemplazamiento del conjunto por dolomita (dol).

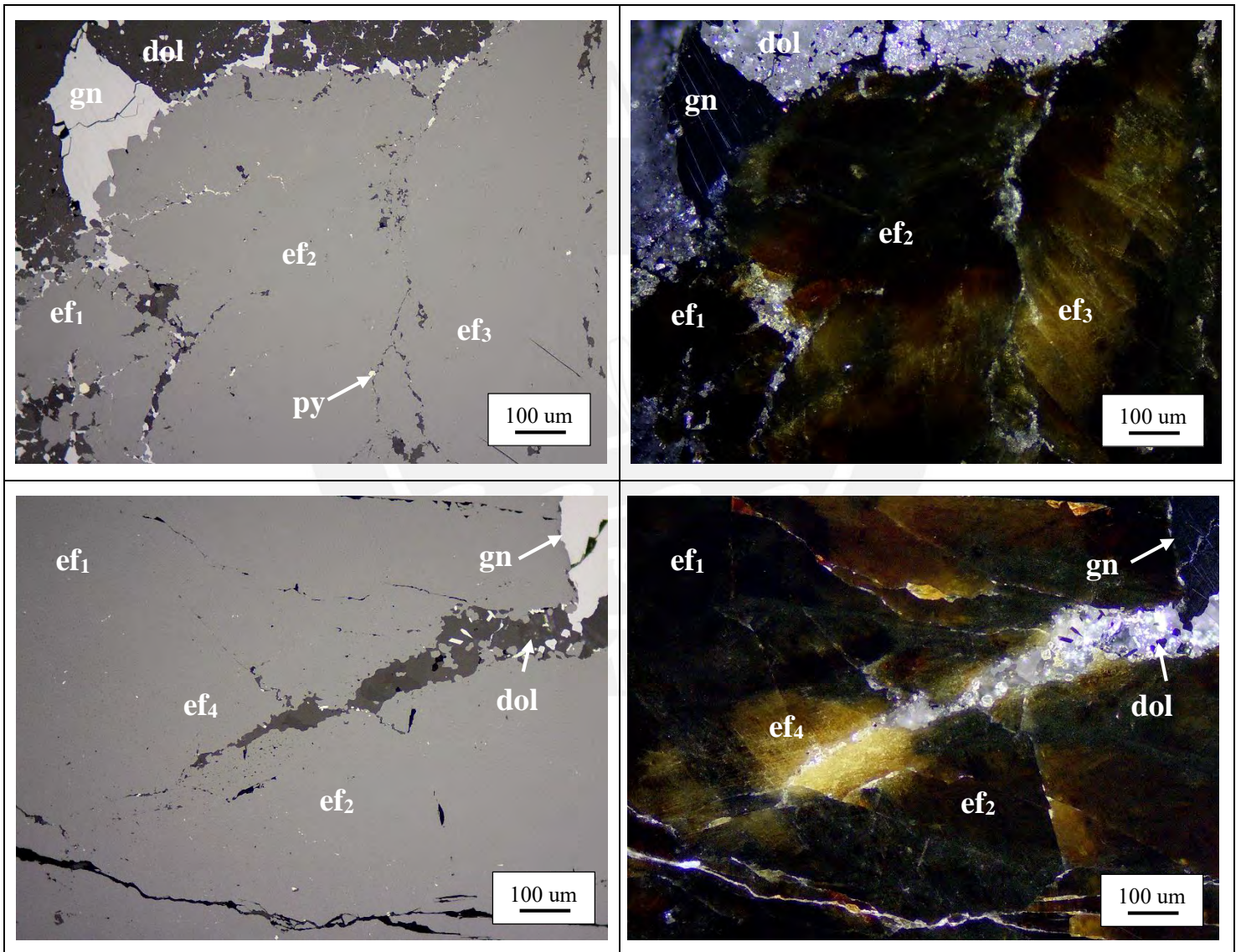


SV-16

Mineralogía: $ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4 \pm gn \pm py \pm dol$

Descripción:

Agregados anhedrales de esfalerita 1 (ef_1 ; color negro con ausencia de reflejos internos) y esfalerita 2 (ef_2 ; reflejos marrón rojizo) que han sido reemplazados por esfalerita 3 (ef_3 ; reflejos marrón amarillento) y esfalerita 4 (ef_4 ; reflejos amarillo parduzco). Cristales de galena (gn) diseminados y como reemplazamiento de esfalerita. Cristales de pirita (py) diseminados y reemplazamiento del conjunto por dolomita (dol).



Anexo III: Análisis representativos de EPMA

Nro	Muestra	Cuerpo	Tipo	Zn (a.p.f.u.)	Fe (a.p.f.u.)	Zn (%)	Fe (%)
1	SV-02	SV-02-círculo A-ef-001	ef4-SV	0.981	0.016	66.84	0.95
2	SV-02	SV-02-círculo A-ef-002	ef3-SV	0.981	0.010	67.28	0.59
3	SV-02	SV-02-círculo A-ef-003	ef3-SV	0.968	0.021	66.28	1.20
4	SV-02	SV-02-círculo B-ef-001	ef4-SV	0.966	0.013	66.30	0.78
5	SV-02	SV-02-círculo B-ef-002	ef4-SV	0.978	0.018	66.89	1.05
6	SV-02	SV-02-círculo C-ef-001	ef3-SV	0.953	0.042	64.43	2.42
7	SV-02	SV-02-círculo C-ef-002	ef3-SV	0.881	0.105	60.68	6.19
8	SV-02	SV-02-círculo C-ef-003	ef3-SV	0.867	0.114	60.16	6.77
9	SV-04	SV-04-círculo A-ef-001	ef4-SV	0.961	0.043	63.84	2.44
10	SV-04	SV-04-círculo A-ef-002	ef3-SV	0.961	0.041	63.13	2.31
11	SV-04	SV-04-círculo B-ef-001	ef3-SV	0.984	0.011	66.09	0.64
12	SV-04	SV-04-círculo B-ef-002	ef3-SV	0.987	0.017	65.67	0.99
13	SV-04	SV-04-círculo B-ef-003	ef3-SV	0.936	0.055	63.08	3.18
14	SV-04	SV-04-círculo C-ef-001	ef3-SV	0.958	0.036	63.46	2.02
15	SV-04	SV-04-círculo C-ef-002	ef3-SV	0.965	0.043	64.31	2.44
16	SV-04	SV-04-círculo C-ef-003	ef3-SV	0.989	0.023	65.40	1.28
17	SV-04	SV-04-círculo D-ef-001	ef3-SV	0.972	0.034	64.89	1.95
18	SV-04	SV-04-círculo D-ef-002	ef4-SV	0.967	0.051	63.82	2.90
19	SV-04	SV-04-círculo D-ef-003	ef4-SV	0.981	0.029	65.37	1.63
20	SV-06A	SV-06A-círculo A-ef-001	ef3-SV	0.961	0.039	65.69	2.30
21	SV-06A	SV-06A-círculo A-ef-002	ef3-SV	0.939	0.058	64.62	3.38
22	SV-06A	SV-06A-círculo A-ef-003	ef3-SV	0.966	0.034	66.22	1.98
23	SV-06A	SV-06A-círculo B-ef-001	ef5-SV	0.966	0.032	65.66	1.87
24	SV-06A	SV-06A-círculo B-ef-002	ef5-SV	0.939	0.057	64.56	3.33
25	SV-06A	SV-06A-círculo B-ef-003	ef1-SV	0.935	0.054	64.52	3.16
26	SV-06A	SV-06A-círculo B-ef-004	ef1-SV	0.940	0.066	64.25	3.83
27	SV-06A	SV-06A-círculo C-ef-001	ef2-SV	0.962	0.035	65.51	2.04
28	SV-06A	SV-06A-círculo C-ef-002	ef2-SV	0.971	0.024	66.59	1.40
29	SV-06A	SV-06A-círculo C-ef-003	ef1-SV	0.950	0.054	64.98	3.15
30	SV-06B	SV-06B-círculo A-ef-001	ef4-SV	0.988	0.030	66.44	1.74
31	SV-06B	SV-06B-círculo A-ef-002	ef2-SV	0.972	0.045	65.36	2.57
32	SV-06B	SV-06B-círculo A-ef-003	ef3-SV	0.984	0.021	67.11	1.22
33	SV-06B	SV-06B-círculo A-ef-004	ef3-SV	0.986	0.021	66.73	1.20
34	SV-06B	SV-06B-círculo B-ef-001	ef2-SV	0.980	0.027	66.55	1.55
35	SV-06B	SV-06B-círculo B-ef-002	ef4-SV	0.972	0.024	66.37	1.41
36	SV-06B	SV-06B-círculo B-ef-003	ef3-SV	0.993	0.024	66.45	1.38
37	SV-06B	SV-06B-círculo C-ef-001	ef3-SV	0.989	0.023	66.63	1.31
38	SV-06B	SV-06B-círculo C-ef-002	ef3-SV	0.973	0.031	66.08	1.80
39	SV-06B	SV-06B-círculo C-ef-003	ef3-SV	0.995	0.020	66.83	1.12
40	SV-07	SV-07-círculo A-ef-001	ef6-SV	1.011	0.001	67.92	0.03
41	SV-07	SV-07-círculo A-ef-002	ef3-SV	0.979	0.033	65.68	1.87

42	SV-07	SV-07-círculo A-ef-003	ef3-SV	0.985	0.016	66.77	0.91
43	SV-07	SV-07-círculo A-ef-004	ef1-SV	0.978	0.033	65.68	1.87
44	SV-07	SV-07-círculo B-ef-001	ef2-SV	0.999	0.010	67.10	0.58
45	SV-07	SV-07-círculo B-ef-002	ef1-SV	0.933	0.074	63.31	4.31
46	SV-07	SV-07-círculo B-ef-003	ef1-SV	0.967	0.035	65.40	2.01
47	SV-07	SV-07-círculo C-ef-001	ef3-SV	0.999	0.006	67.30	0.37
48	SV-07	SV-07-círculo C-ef-002	ef1-SV	0.996	0.019	66.49	1.10
49	SV-07	SV-07-círculo C-ef-003	ef1-SV	0.973	0.023	66.10	1.36
50	SV-08A	SV-08A-círculo A-ef-001	ef4-SV	0.946	0.021	65.20	1.23
51	SV-08A	SV-08A-círculo A-ef-002	ef2-SV	0.930	0.049	63.77	2.89
52	SV-08A	SV-08A-círculo A-ef-003	ef2-SV	0.929	0.044	64.02	2.62
53	SV-08A	SV-08A-círculo A-ef-004	ef1-SV	0.938	0.026	64.68	1.53
54	SV-08A	SV-08A-círculo C-ef-001	ef2-SV	0.908	0.071	62.19	4.16
55	SV-08A	SV-08A-círculo C-ef-002	ef1-SV	0.908	0.073	61.72	4.26
56	SV-08A	SV-08A-círculo C-ef-003	ef1-SV	0.911	0.053	62.90	3.13
57	SV-08A	SV-08A-círculo D-ef-001	ef3-SV	0.948	0.027	64.69	1.55
58	SV-08A	SV-08A-círculo D-ef-002	ef3-SV	0.951	0.022	65.11	1.30
59	SV-08A	SV-08A-círculo D-ef-003	ef3-SV	0.925	0.044	64.01	2.61
60	SV-08B	SV-08B-círculo A-ef-001	ef3-SV	0.965	0.020	65.23	1.13
61	SV-08B	SV-08B-círculo A-ef-002	ef1-SV	0.973	0.024	64.99	1.37
62	SV-08B	SV-08B-círculo A-ef-003	ef1-SV	0.968	0.023	65.22	1.35
63	SV-08B	SV-08B-círculo B-ef-001	ef1-SV	0.958	0.034	64.51	1.96
64	SV-08B	SV-08B-círculo B-ef-002	ef3-SV	0.975	0.006	65.84	0.33
65	SV-08B	SV-08B-círculo B-ef-003	ef1-SV	0.965	0.031	64.30	1.77
66	SV-08B	SV-08B-círculo C-ef-001	ef4-SV	0.973	0.024	64.87	1.34
67	SV-08B	SV-08B-círculo C-ef-002	ef3-SV	0.972	0.024	65.28	1.35
68	SV-08B	SV-08B-círculo C-ef-003	ef3-SV	0.957	0.036	64.36	2.08
69	SV-08B	SV-08B-círculo D-ef-001	ef3-SV	0.984	0.015	65.32	0.83
70	SV-08B	SV-08B-círculo D-ef-002	ef3-SV	0.959	0.032	64.29	1.86
71	SV-08B	SV-08B-círculo D-ef-004	ef3-SV	0.959	0.045	63.96	2.55
72	SV-08B	SV-08B-círculo D-ef-003	ef1-SV	0.957	0.042	64.10	2.38
73	SV-08B	SV-08B-círculo E-ef-001	ef3-SV	0.957	0.025	64.75	1.45
74	SV-08B	SV-08B-círculo E-ef-002	ef4-SV	0.973	0.020	65.06	1.17
75	SV-08B	SV-08B-círculo E-ef-003	ef3-SV	0.975	0.018	65.30	1.05
76	SV-08B	SV-08B-círculo E-ef-004	ef3-SV	0.977	0.010	65.71	0.56
77	SV-09	SV-09-círculo A-ef-001	ef3-SV	0.968	0.037	65.11	2.13
78	SV-09	SV-09-círculo A-ef-004	ef3-SV	0.972	0.029	66.14	1.66
79	SV-09	SV-09-círculo A-ef-002	ef4-SV	0.978	0.027	66.35	1.55
80	SV-09	SV-09-círculo A-ef-003	ef1-SV	0.981	0.029	65.97	1.66
81	SV-09	SV-09-círculo B-ef-001	ef3-SV	0.961	0.043	65.53	2.53
82	SV-09	SV-09-círculo B-ef-002	ef3-SV	0.966	0.035	65.82	2.01
83	SV-09	SV-09-círculo B-ef-003	ef1-SV	0.935	0.057	64.18	3.33
84	SV-09	SV-09-círculo B-ef-004	ef3-SV	0.982	0.025	66.60	1.44
85	SV-09	SV-09-círculo C-ef-001	ef1-SV	0.992	0.004	67.53	0.25
86	SV-09	SV-09-círculo C-ef-002	ef4-SV	0.987	0.009	67.19	0.53

87	SV-09	SV-09-círculo C-ef-003	ef1-SV	0.969	0.030	66.15	1.77
88	SV-11A	SV-11A-círculo B-ef-001	ef1-SV	0.967	0.025	65.85	1.46
89	SV-11A	SV-11A-círculo B-ef-002	ef2-SV	0.961	0.045	64.68	2.58
90	SV-11A	SV-11A-círculo B-ef-003	ef4-SV	0.969	0.025	65.93	1.43
91	SV-11A	SV-11A-círculo B-ef-004	ef2-SV	0.986	0.024	66.00	1.39
92	SV-11A	SV-11A-círculo C-ef-001	ef2-SV	0.978	0.019	66.42	1.09
93	SV-11A	SV-11A-círculo C-ef-002	ef2-SV	0.955	0.044	65.05	2.56
94	SV-11A	SV-11A-círculo C-ef-003	ef3-SV	0.956	0.042	65.14	2.44
95	SV-11A	SV-11A-círculo C-ef-004	ef4-SV	0.970	0.034	65.46	1.97
96	SV-11B	SV-11B-círculo A-ef-001	ef2-SV	0.963	0.023	64.86	1.35
97	SV-11B	SV-11B-círculo A-ef-002	ef2-SV	0.942	0.039	64.21	2.25
98	SV-11B	SV-11B-círculo A-ef-003	ef2-SV	0.944	0.046	63.74	2.67
99	SV-11B	SV-11B-círculo A-ef-004	ef2-SV	0.938	0.054	63.24	3.09
100	SV-11B	SV-11B-círculo B-ef-001	ef3-SV	0.965	0.021	64.94	1.23
101	SV-11B	SV-11B-círculo B-ef-002	ef3-SV	0.956	0.036	64.27	2.07
102	SV-11B	SV-11B-círculo B-ef-003	ef1-SV	0.945	0.043	63.72	2.50
103	SV-11B	SV-11B-círculo C-ef-001	ef2-SV	0.956	0.037	63.98	2.12
104	SV-11B	SV-11B-círculo D-ef-001	ef1-SV	0.954	0.036	64.33	2.08
105	SV-11B	SV-11B-círculo D-ef-002	ef2-SV	0.944	0.040	63.79	2.32
106	SV-11B	SV-11B-círculo D-ef-003	ef1-SV	0.943	0.038	63.98	2.18
107	SV-11C	SV-11C-círculo A-ef-001	ef1-SV	0.927	0.051	62.72	2.94
108	SV-11C	SV-11C-círculo A-ef-002	ef3-SV	0.949	0.034	63.82	1.98
109	SV-11C	SV-11C-círculo B-ef-001	ef3-SV	0.946	0.030	63.91	1.73
110	SV-11C	SV-11C-círculo B-ef-002	ef2-SV	0.961	0.027	64.58	1.54
111	SV-11C	SV-11C-círculo C-ef-001	ef1-SV	0.936	0.036	63.75	2.08
112	SV-11C	SV-11C-círculo C-ef-002	ef2-SV	0.938	0.045	63.17	2.57
113	SV-12A	SV-12A-círculo A-ef-001	ef1-SV	0.972	0.022	65.91	1.30
114	SV-12A	SV-12A-círculo A-ef-002	ef1-SV	0.944	0.050	62.65	2.86
115	SV-12A	SV-12A-círculo B-ef-001	ef1-SV	0.914	0.077	62.81	4.50
116	SV-12A	SV-12A-círculo C-ef-001	ef1-SV	0.944	0.058	64.29	3.39
117	SV-12A	SV-12A-círculo C-ef-002	ef2-SV	0.934	0.051	64.20	2.98
118	SV-12A	SV-12A-círculo D-ef-001	ef3-SV	0.948	0.025	65.76	1.50
119	SV-12A	SV-12A-círculo D-ef-002	ef2-SV	0.940	0.056	63.99	3.26
120	SV-12B	SV-12B-círculo A-ef-001	ef3-SV	0.974	0.037	65.22	2.10
121	SV-12B	SV-12B-círculo A-ef-002	ef3-SV	0.980	0.024	65.69	1.39
122	SV-13	SV-13-círculo A-ef-002	ef6-SV	0.966	0.001	65.81	0.03
123	SV-13	SV-13-círculo B-ef-001	ef6-SV	0.979	0.000	65.84	0.01
124	SV-13	SV-13-círculo C-ef-001	ef6-SV	0.980	0.000	66.06	0.02
125	SV-13	SV-13-círculo C-ef-002	ef6-SV	0.984	0.000	67.04	0.03
126	SV-14	SV-14-círculo A-ef-001	ef6-SV	0.997	0.000	65.87	0.00
127	SV-14	SV-14-círculo A-ef-002	ef6-SV	0.978	0.000	66.05	0.03
128	SV-14	SV-14-círculo B-ef-001	ef6-SV	0.970	0.001	65.80	0.03
129	SV-14	SV-14-círculo C-ef-001	ef6-SV	0.964	0.000	65.81	0.01
130	SV-15	SV-15B-círculo B-ef-002	ef7-SV	1.003	0.000	67.62	0.00
131	SV-15	SV-15B-círculo C-ef-001	ef6-SV	0.994	0.000	67.40	0.02

132	SV-15	SV-15B-círculo C-ef-002	ef5-SV	0.985	0.000	66.29	0.01
133	SV-15A	SV-15A-círculo A-ef-001	ef6-SV	0.998	0.000	66.70	0.02
134	SV-15A	SV-15A-círculo B-ef-003	ef5-SV	0.991	0.001	66.57	0.04
135	SV-15A	SV-15A-círculo D-ef-001	ef5-SV	0.996	0.000	66.67	0.01
136	SV-15A	SV-15A-círculo D-ef-002	ef5-SV	0.999	0.000	66.69	0.02
137	SV-15A	SV-15A-círculo D-ef-003	ef5-SV	0.983	0.000	66.85	0.01
138	SV-15A	SV-15A-círculo E-ef-001	ef5-SV	0.992	0.000	66.65	0.00
139	SV-15A	SV-15A-círculo E-ef-003	ef5-SV	0.985	0.001	66.82	0.03
140	SV-16	SV-16-círculo A-ef-001	ef1-SV	0.897	0.079	62.10	4.70
141	SV-16	SV-16-círculo A-ef-002	ef1-SV	0.941	0.034	64.53	2.00
142	SV-16	SV-16-círculo B-ef-001	ef1-SV	0.927	0.049	63.66	2.88
143	SV-16	SV-16-círculo B-ef-001	ef1-SV	0.912	0.076	62.28	4.42
144	SV-16	SV-16-círculo D-ef-001	ef2-SV	0.935	0.051	63.99	2.99
145	SV-16	SV-16-círculo D-ef-002	ef3-SV	0.959	0.026	65.68	1.50
146	SV-16	SV-16-círculo E-ef-001	ef4-SV	0.944	0.027	65.21	1.57
147	SV-16	SV-16-círculo E-ef-002	ef3-SV	0.935	0.061	63.54	3.56
148	SV-16	SV-16-círculo E-ef-003	ef3-SV	0.936	0.049	63.89	2.88

Anexo IV: Análisis de elementos traza LA-ICP-MS en sulfuros pobres en Pb/As

Metadatos

Laboratorio y Preparación de Muestras	
Nombre de laboratorio	Dept. of Earth Science, Institute for Geochemistry and Petrology - ETH Zurich
Tipo de muestra / mineral	Sulfuro natural
Preparación de la muestra	Fragmentos de muestra en soportes epoxy de 1 pulgada
Imagen	Microscopía óptica convencional + SEM-EDS
Sistema de ablación láser	
Marca, modelo y tipo	ASI (Resonetics) resolución S-155
Celda de ablación y volumen	Laurin Technic, celda de ablación S-155 de doble volumen, volumen efectivo aprox. 1 cm ³
Longitud de onda láser (nm)	193 nm
Ancho de pulso (ns)	25 ns
Fluencia (J cm ⁻²)	aprox. 2.5 J cm ⁻²
Tasa de repetición (Hz)	3 Hz
Duración de la ablación	25 s
Diámetro del punto (mm)	19 mm
Modo de muestreo / patrón	Ablación puntual estática
Gas portador	100% He en la celda, gas de reposición de Ar combinado en embudo de ablación
Celda de flujo de gas portador (l min ⁻¹)	0.5 l min ⁻¹

Instrumento ICP-MS	
Marca, modelo y tipo	Thermo Element XR, colector individual de campo "sectorial" ICP-MS
Introducción de muestra	Directo
RF potencia (W)	1275 a 1455 W (ajustada diariamente)
Flujo de gas de reposición (l min ⁻¹)	aprox. 0.89 a 0.92 l min ⁻¹ Ar (ajustada diariamente) + 0.002 l min ⁻¹ N ₂
Sistema de detección	Triple (conteo de pulsos, analógico, Faraday), cruce calibrado diariamente
Masas medidas (amu)	33, 34, 53, 55, 57, 59, 62, 65, 66, 71, 74, 75, 77, 95, 107, 111, 115, 118, 121, 125, 182, 197, 202, 205, 208, 209
Tiempo de integración por pico / tiempos de permanencia (ms)	25 ms excepto en amu 33, 34, 53, 55, 59, 62, 65 y 66 (11 ms)
Tiempo total de integración por punto (s) de datos de salida	0.719 s
Tiempo muerto (ns)	22
Tasa de óxido típica (²⁴⁸ ThO ⁺ / ²³² Th ⁺)	0.15%
Tasa típica con doble carga (Ba ⁺⁺ /Ba ⁺)	3.50%
Procesamiento de datos	
Gas en blanco	25 s
Estrategia de calibración	Masa-1 utilizada como material de referencia principal para la cuantificación de elementos traza; polvo prensado con sulfuro UQAC-FeS-1 y vidrios de silicato GSD-1G y NIST SRM 610 como secundarios / validación.
Información del material de referencia	Masa-1 (Wilson et al. 2002) UQAC-FeS-1 (datos no publicados de D. Savard, UQAC 2018; ver también Baumgartner et al. 2020) GSD-1G (Guillong et al. 2005) NIST SRM610 (Jochum et al. 2011)
Paquete de procesamiento de datos utilizado / Corrección para LIEF	SILLS independientes v. 1.3.2 (Guillong et al. 2008)
Norma interna para la cuantificación de elementos traza	Concentraciones medidas de Zn (esfalerita), Cu (calcopirita) con EPMA

Anexo V: Resultados de LA-ICP-MS

Nro	Label	Tipo	Sample	District	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Co (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Se (ppm)	Cd (ppm)	Ga (ppm)	Ge (ppm)	Mo (ppm)	Tl (ppm)	Sn (ppm)	In (ppm)	Sb (ppm)
1	2019-SV-02-Circulo A-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-02	San Vicente	247	1.1	<D.L.	0.6	2.23	2.29	0.17	<D.L.	47.33	0.022	1.012	0.016	0.048	0.036	<D.L.	0.0181
2	2019-SV-02-Circulo A-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-02	San Vicente	209	1.4	<D.L.	0.9	2.17	13.32	0.25	<D.L.	75.71	0.026	2.356	<D.L.	0.224	0.038	<D.L.	<D.L.
3	2019-SV-02-Circulo A-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-02	San Vicente	112	1.5	<D.L.	0.2	0.98	1.93	0.15	<D.L.	30.58	0.021	0.937	0.020	0.053	0.049	<D.L.	<D.L.
4	2019-SV-02-Circulo B-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-02	San Vicente	503	1.6	<D.L.	1.0	2.19	8.13	0.19	<D.L.	79.60	0.024	1.778	<D.L.	0.125	0.051	<D.L.	<D.L.
5	2019-SV-02-Circulo B-ef - 2	ef4-SV	2019-SV-02	San Vicente	1012	1.0	<D.L.	1.6	3.17	7.88	0.18	<D.L.	73.05	0.019	0.918	0.010	0.090	0.035	<D.L.	<D.L.
6	2019-SV-02-Circulo B-ef - 3	ef4-SV	2019-SV-02	San Vicente	422	1.2	<D.L.	0.4	1.83	5.21	0.27	<D.L.	32.62	0.061	2.257	<D.L.	0.072	0.035	<D.L.	<D.L.
7	2019-SV-02-Circulo C-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-02	San Vicente	565	2.2	<D.L.	1.8	2.38	5.42	0.16	<D.L.	25.24	0.034	2.198	0.021	0.055	0.039	<D.L.	<D.L.
8	2019-SV-02-Circulo C-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-02	San Vicente	2770	1.8	<D.L.	1.1	4.25	6.93	0.17	0.44	6.60	0.020	5.166	0.015	0.064	0.036	<D.L.	<D.L.
9	2019-SV-02-Circulo C-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-02	San Vicente	2927	2.7	<D.L.	1.5	4.26	1.50	0.27	0.46	55.03	0.025	0.996	0.013	0.060	0.033	0.0037	<D.L.
10	2019-SV-04-Circulo A-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-04	San Vicente	565	4.1	<D.L.	1.0	1.94	8.87	0.16	<D.L.	28.12	0.010	0.759	<D.L.	0.153	0.031	<D.L.	<D.L.
11	2019-SV-04-Circulo A-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	826	3.2	<D.L.	0.5	1.85	19.67	0.15	<D.L.	106.39	0.049	1.346	0.012	0.410	0.034	0.0044	<D.L.
12	2019-SV-04-Circulo A-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	510	1.7	<D.L.	0.4	0.86	15.76	0.10	<D.L.	39.41	0.090	0.933	0.015	0.111	0.022	0.0026	<D.L.
13	2019-SV-04-Circulo B-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	547	2.9	<D.L.	0.4	4.79	10.09	0.16	<D.L.	43.36	0.127	1.741	<D.L.	0.211	0.037	0.0046	<D.L.
14	2019-SV-04-Circulo B-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	761	4.6	<D.L.	0.9	1.72	7.90	0.12	<D.L.	62.24	0.078	1.995	0.012	0.210	0.038	0.0043	<D.L.
15	2019-SV-04-Circulo B-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	572	2.4	<D.L.	0.4	2.29	11.71	0.13	0.36	49.81	0.049	1.806	0.015	0.203	0.039	0.0041	<D.L.
16	2019-SV-04-Circulo C-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	495	1.4	<D.L.	0.4	3.18	5.10	0.14	0.57	41.31	0.023	1.000	<D.L.	0.085	0.062	<D.L.	<D.L.
17	2019-SV-04-Circulo C-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	360	1.2	<D.L.	0.2	2.94	4.73	0.13	<D.L.	51.35	0.027	1.159	<D.L.	0.072	0.034	0.0039	<D.L.
18	2019-SV-04-Circulo C-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	121	1.0	<D.L.	0.2	0.81	5.70	0.14	0.47	34.65	0.036	1.569	<D.L.	0.120	0.035	0.0044	<D.L.
19	2019-SV-04-Circulo D-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-04	San Vicente	1120	1.3	3.0	0.6	4.72	5.19	0.18	0.47	72.75	0.037	0.625	0.015	0.053	0.036	<D.L.	<D.L.
20	2019-SV-04-Circulo D-ef - 2	ef4-SV	2019-SV-04	San Vicente	774	1.2	<D.L.	0.1	16.04	33.38	0.21	0.75	33.62	0.029	0.654	<D.L.	0.032	0.037	<D.L.	<D.L.
21	2019-SV-04-Circulo D-ef - 3	ef4-SV	2019-SV-04	San Vicente	161	1.1	<D.L.	0.2	1.96	9.64	0.09	<D.L.	22.27	0.037	1.050	<D.L.	0.102	0.041	0.0040	<D.L.
22	2019-SV-06A-Circulo A-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-06A	San Vicente	707	3.9	<D.L.	0.1	<D.L.	0.43	0.16	0.54	11.07	0.085	1.841	<D.L.	0.045	0.041	0.0037	<D.L.
23	2019-SV-06A-Circulo A-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-06A	San Vicente	838	2.5	<D.L.	0.2	0.08	0.32	0.14	0.36	14.87	0.157	1.013	0.009	0.029	0.043	0.0047	<D.L.
24	2019-SV-06A-Circulo A-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-06A	San Vicente	587	4.8	<D.L.	0.3	0.07	0.34	0.18	<D.L.	25.17	0.650	2.901	<D.L.	0.060	0.256	0.0221	<D.L.
25	2019-SV-06A-Circulo B-ef - 1	ef5-SV	2019-SV-06A	San Vicente	425	3.0	<D.L.	0.3	<D.L.	0.21	0.14	<D.L.	17.51	0.134	1.693	0.012	0.016	0.066	0.0049	<D.L.
26	2019-SV-06A-Circulo B-ef - 2	ef5-SV	2019-SV-06A	San Vicente	897	1.1	<D.L.	0.2	0.07	0.16	0.12	<D.L.	15.62	0.542	1.076	<D.L.	0.018	0.047	0.0045	<D.L.
27	2019-SV-06A-Circulo B-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-06A	San Vicente	22788	25.6	<D.L.	8.3	<D.L.	6.02	3.58	<D.L.	557.96	5.380	44.572	0.023	0.489	0.410	0.0169	<D.L.

28	2019-SV-06A-Circulo B-ef - 4	ef1-SV	2019-SV-06A	San Vicente	12547	20.3	4.8	11.1	0.21	5.06	3.57	<D.L.	552.81	3.484	112.677	<D.L.	0.884	0.323	0.0085	<D.L.
29	2019-SV-06A-Circulo C-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-06A	San Vicente	20568	32.9	<D.L.	2.4	<D.L.	8.67	3.27	<D.L.	535.76	2.208	31.273	<D.L.	0.411	0.246	0.0064	<D.L.
30	2019-SV-06A-Circulo C-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-06A	San Vicente	19687	74.9	<D.L.	7.7	0.21	10.10	3.37	0.79	518.94	6.650	96.254	0.036	2.074	0.600	0.0409	<D.L.
31	2019-SV-06A-Circulo C-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-06A	San Vicente	23232	72.4	<D.L.	4.7	0.16	6.51	3.97	<D.L.	704.49	6.679	52.861	<D.L.	0.853	0.870	0.0597	<D.L.
32	2019-SV-06B-Circulo A-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-06B	San Vicente	13395	21.3	<D.L.	12.2	0.41	7.75	3.56	<D.L.	560.16	1.573	93.305	0.023	1.518	0.375	<D.L.	<D.L.
33	2019-SV-06B-Circulo A-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-06B	San Vicente	17475	35.3	<D.L.	3.8	0.30	17.41	3.07	<D.L.	476.05	0.087	50.858	0.027	0.823	0.194	<D.L.	<D.L.
34	2019-SV-06B-Circulo A-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-06B	San Vicente	10483	27.6	4.0	5.1	0.51	13.25	3.32	<D.L.	247.34	0.143	99.254	<D.L.	2.401	0.238	<D.L.	<D.L.
35	2019-SV-06B-Circulo A-ef - 4	ef3-SV	2019-SV-06B	San Vicente	8430	41.2	<D.L.	5.0	0.39	12.09	3.58	<D.L.	487.63	1.276	59.684	<D.L.	0.862	0.364	0.0109	<D.L.
36	2019-SV-06B-Circulo B-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-06B	San Vicente	11074	26.4	<D.L.	10.2	0.38	14.34	3.40	<D.L.	634.59	4.694	133.478	<D.L.	2.501	0.401	0.0163	<D.L.
37	2019-SV-06B-Circulo B-ef - 2	ef4-SV	2019-SV-06B	San Vicente	10927	26.9	<D.L.	21.5	0.32	12.28	4.40	<D.L.	724.49	9.039	134.275	0.036	1.917	0.839	0.0674	<D.L.
38	2019-SV-06B-Circulo B-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-06B	San Vicente	13289	46.9	<D.L.	5.2	0.33	27.09	3.33	<D.L.	516.74	0.906	118.428	<D.L.	3.246	0.276	0.0085	<D.L.
39	2019-SV-06B-Circulo C-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-06B	San Vicente	9640	42.3	<D.L.	2.3	0.14	5.44	3.21	0.98	218.52	1.375	30.148	0.041	0.267	0.666	0.0528	<D.L.
40	2019-SV-06B-Circulo C-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-06B	San Vicente	18010	21.6	<D.L.	5.5	0.26	3.33	3.38	<D.L.	478.69	0.981	53.814	<D.L.	0.270	0.281	<D.L.	<D.L.
41	2019-SV-06B-Circulo C-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-06B	San Vicente	19463	47.3	<D.L.	13.4	0.41	8.40	3.16	0.85	500.51	13.287	82.894	0.085	0.929	1.102	0.0428	0.0586
42	2019-SV-07-Circulo A-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-07	San Vicente	88	<D.L.	43.1	6.5	0.79	3.02	3.51	<D.L.	1362.92	0.756	177.158	<D.L.	0.325	0.185	<D.L.	<D.L.
43	2019-SV-07-Circulo A-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-07	San Vicente	5641	14.1	3.8	3.2	<D.L.	3.39	3.93	<D.L.	786.25	0.990	13.498	<D.L.	0.036	0.285	0.0889	<D.L.
44	2019-SV-07-Circulo A-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-07	San Vicente	6682	25.5	10.3	7.4	<D.L.	3.61	3.87	<D.L.	873.16	0.459	87.505	0.036	1.004	0.195	<D.L.	<D.L.
45	2019-SV-07-Circulo A-ef - 4	ef1-SV	2019-SV-07	San Vicente	16731	15.4	<D.L.	16.8	0.26	3.99	3.43	<D.L.	576.31	3.936	94.995	<D.L.	0.673	0.376	0.0598	<D.L.
46	2019-SV-07-Circulo B-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-07	San Vicente	10035	8.9	<D.L.	19.5	0.16	2.99	3.88	<D.L.	840.52	0.771	37.185	<D.L.	0.244	0.305	<D.L.	<D.L.
47	2019-SV-07-Circulo B-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-07	San Vicente	28218	62.8	<D.L.	2.6	<D.L.	15.68	3.67	0.84	1099.41	15.815	43.002	0.026	0.734	0.987	0.0506	<D.L.
48	2019-SV-07-Circulo B-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-07	San Vicente	14381	83.9	<D.L.	1.9	0.28	18.42	3.28	<D.L.	484.25	7.270	108.840	0.040	1.344	0.619	0.0596	<D.L.
49	2019-SV-07-Circulo B-ef - 4	ef2-SV	2019-SV-07	San Vicente	12757	75.9	<D.L.	2.0	0.24	19.94	5.40	<D.L.	487.17	7.796	118.467	<D.L.	1.443	0.651	0.0894	<D.L.
50	2019-SV-07-Circulo C-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-07	San Vicente	3000	49.2	8.8	33.2	<D.L.	3.12	4.03	<D.L.	1564.79	3.208	92.917	<D.L.	0.887	0.248	0.0085	<D.L.
51	2019-SV-07-Circulo C-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-07	San Vicente	10122	24.6	<D.L.	6.3	<D.L.	5.40	2.87	<D.L.	736.81	1.113	23.616	<D.L.	0.303	0.360	0.0178	<D.L.
52	2019-SV-07-Circulo C-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-07	San Vicente	17762	19.5	<D.L.	11.3	0.24	3.51	2.84	<D.L.	617.78	20.383	136.405	<D.L.	1.192	3.163	0.0876	<D.L.
53	2019-SV-08A-Circulo A-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-08A	San Vicente	8402	3.3	<D.L.	2.1	<D.L.	2.19	3.46	<D.L.	1084.13	0.880	0.227	<D.L.	<D.L.	0.183	<D.L.	<D.L.
54	2019-SV-08A-Circulo A-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-08A	San Vicente	26958	19.6	<D.L.	21.3	0.14	3.38	3.38	<D.L.	1251.80	47.617	34.133	<D.L.	0.374	1.393	0.1474	<D.L.
55	2019-SV-08A-Circulo A-ef - 3	ef2-SV	2019-SV-08A	San Vicente	22527	48.3	<D.L.	5.0	<D.L.	6.98	3.15	<D.L.	1228.97	3.395	45.338	<D.L.	0.566	0.384	0.0170	<D.L.
56	2019-SV-08A-Circulo A-ef - 4	ef1-SV	2019-SV-08A	San Vicente	12157	70.1	<D.L.	3.0	0.18	9.66	2.84	<D.L.	537.73	8.309	128.625	<D.L.	1.766	0.772	0.0678	<D.L.
57	2019-SV-08A-Circulo B-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-08A	San Vicente	14896	66.0	<D.L.	4.4	<D.L.	5.88	1.37	<D.L.	593.03	7.473	52.362	<D.L.	0.766	1.154	0.1046	0.0278

58	2019-SV-08A-Circulo C-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-08A	San Vicente	32945	70.5	<D.L.	2.4	0.15	8.25	3.54	<D.L.	1429.58	12.465	40.341	<D.L.	0.518	0.602	0.0433	<D.L.
59	2019-SV-08A-Circulo C-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-08A	San Vicente	23364	71.7	<D.L.	2.9	<D.L.	11.39	2.55	<D.L.	1173.94	11.816	42.312	<D.L.	0.621	0.985	0.0713	<D.L.
60	2019-SV-08A-Circulo C-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-08A	San Vicente	19599	95.9	<D.L.	28.5	<D.L.	10.69	2.85	<D.L.	1102.80	25.489	68.704	<D.L.	1.659	2.591	0.2620	0.0943
61	2019-SV-08A-Circulo D-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-08A	San Vicente	16459	41.2	<D.L.	11.4	<D.L.	4.86	2.05	<D.L.	873.80	0.867	39.387	<D.L.	0.499	0.617	0.0595	<D.L.
62	2019-SV-08A-Circulo D-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-08A	San Vicente	11005	45.2	<D.L.	8.9	<D.L.	6.36	2.73	<D.L.	421.07	1.749	79.202	0.029	0.682	0.334	0.0111	<D.L.
63	2019-SV-08A-Circulo D-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-08A	San Vicente	9742	37.7	<D.L.	4.5	<D.L.	4.76	3.02	<D.L.	410.32	0.810	60.502	<D.L.	0.403	0.306	0.0097	<D.L.
64	2019-SV-08B-Circulo A-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	10443	42.1	<D.L.	4.0	<D.L.	4.90	3.21	0.94	452.79	0.688	24.722	0.050	0.306	0.993	0.1317	0.0339
65	2019-SV-08B-Circulo A-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-08B	San Vicente	12135	7.4	<D.L.	6.5	0.17	2.62	3.12	<D.L.	400.46	0.088	59.469	0.028	0.258	0.185	<D.L.	<D.L.
66	2019-SV-08B-Circulo A-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-08B	San Vicente	8632	7.8	<D.L.	22.9	<D.L.	2.61	3.25	0.99	393.56	0.086	41.764	0.026	0.205	0.203	<D.L.	<D.L.
67	2019-SV-08B-Circulo B-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-08B	San Vicente	21780	68.8	<D.L.	3.0	<D.L.	11.54	3.14	<D.L.	820.23	6.458	36.610	0.032	0.729	0.548	0.0580	<D.L.
68	2019-SV-08B-Circulo B-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	2799	13.3	<D.L.	3.9	<D.L.	2.94	3.40	1.04	1117.11	0.282	26.420	0.032	0.182	0.231	0.0132	<D.L.
69	2019-SV-08B-Circulo B-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-08B	San Vicente	20666	32.5	<D.L.	12.8	0.38	11.82	3.16	<D.L.	729.63	9.399	71.544	<D.L.	0.933	0.855	0.0741	<D.L.
70	2019-SV-08B-Circulo C-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-08B	San Vicente	9581	14.4	<D.L.	18.3	0.43	5.72	3.51	<D.L.	836.94	5.002	49.932	0.041	0.482	0.409	0.0123	<D.L.
71	2019-SV-08B-Circulo C-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	9531	25.3	<D.L.	2.4	0.61	9.10	3.07	<D.L.	387.63	3.139	35.325	<D.L.	0.267	0.386	0.0357	<D.L.
72	2019-SV-08B-Circulo C-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	14899	12.9	<D.L.	10.5	0.50	6.14	3.30	<D.L.	841.07	26.494	46.020	<D.L.	0.414	0.964	0.0616	<D.L.
73	2019-SV-08B-Circulo D-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	6305	17.8	<D.L.	2.4	0.48	5.62	3.62	<D.L.	699.27	4.544	22.927	<D.L.	0.219	0.516	0.0289	<D.L.
74	2019-SV-08B-Circulo D-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	10414	15.2	<D.L.	24.8	0.40	5.19	3.91	<D.L.	1603.13	11.807	66.093	0.029	0.654	0.326	0.0240	<D.L.
75	2019-SV-08B-Circulo D-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-08B	San Vicente	17677	38.3	<D.L.	28.8	0.13	3.66	8.59	<D.L.	3784.19	80.247	19.068	0.025	0.748	2.458	0.1911	0.0286
76	2019-SV-08B-Circulo D-ef - 4	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	9695	25.9	<D.L.	10.1	0.26	8.43	4.32	<D.L.	1245.38	21.955	89.955	0.042	0.961	0.976	0.1074	<D.L.
77	2019-SV-08B-Circulo E-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	9329	37.5	<D.L.	3.1	0.20	13.41	3.60	<D.L.	892.45	2.032	23.284	<D.L.	0.305	0.580	0.0157	<D.L.
78	2019-SV-08B-Circulo E-ef - 2	ef4-SV	2019-SV-08B	San Vicente	7539	9.0	<D.L.	21.7	0.51	4.55	4.27	<D.L.	1597.57	16.619	118.211	<D.L.	0.754	0.784	0.0537	<D.L.
79	2019-SV-08B-Circulo E-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	9556	81.5	<D.L.	13.0	0.28	6.85	3.92	<D.L.	1150.64	10.221	30.464	0.039	0.593	0.977	0.0610	<D.L.
80	2019-SV-08B-Circulo E-ef - 4	ef3-SV	2019-SV-08B	San Vicente	4179	3.0	<D.L.	9.4	0.66	3.22	3.52	<D.L.	1564.05	10.934	33.847	<D.L.	0.462	0.289	<D.L.	<D.L.
81	2019-SV-09-Circulo A-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-09	San Vicente	17824	23.8	<D.L.	4.6	<D.L.	4.37	4.26	<D.L.	1267.21	1.518	25.620	0.039	0.231	0.228	0.0076	<D.L.
82	2019-SV-09-Circulo A-ef - 2	ef4-SV	2019-SV-09	San Vicente	12254	21.0	<D.L.	6.5	<D.L.	3.33	3.68	<D.L.	737.50	1.185	99.274	<D.L.	0.804	0.214	0.0102	<D.L.
83	2019-SV-09-Circulo A-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-09	San Vicente	14889	8.0	<D.L.	10.7	<D.L.	2.74	4.86	<D.L.	1202.21	0.652	74.573	<D.L.	0.436	0.201	<D.L.	<D.L.
84	2019-SV-09-Circulo A-ef - 4	ef3-SV	2019-SV-09	San Vicente	16839	20.8	<D.L.	5.6	<D.L.	3.86	3.97	1.26	853.54	1.058	33.512	0.029	0.255	0.351	<D.L.	<D.L.
85	2019-SV-09-Circulo B-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-09	San Vicente	25873	17.2	<D.L.	10.0	0.31	4.57	2.85	1.04	428.35	5.514	111.485	<D.L.	0.738	0.422	0.0263	<D.L.
86	2019-SV-09-Circulo B-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-09	San Vicente	16697	15.4	<D.L.	8.8	0.26	5.10	3.02	<D.L.	435.54	2.262	63.344	<D.L.	0.426	0.316	<D.L.	<D.L.
87	2019-SV-09-Circulo B-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-09	San Vicente	19584	52.2	<D.L.	3.0	0.26	22.74	2.74	<D.L.	492.79	3.578	50.745	<D.L.	0.975	0.640	0.0156	<D.L.

88	2019-SV-09-Circulo B-ef - 4	ef3-SV	2019-SV-09	San Vicente	14490	47.1	<D.L.	6.9	0.23	14.35	3.36	<D.L.	312.29	3.904	166.918	<D.L.	3.449	0.294	0.0110	<D.L.
89	2019-SV-09-Circulo C-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-09	San Vicente	19930	81.4	7.8	6.4	0.34	29.15	4.24	<D.L.	435.32	5.836	73.322	<D.L.	2.309	0.703	0.0396	0.0431
90	2019-SV-09-Circulo C-ef - 2	ef4-SV	2019-SV-09	San Vicente	7265	26.7	12.3	9.0	<D.L.	5.88	3.46	<D.L.	498.97	1.124	73.165	0.049	1.278	1.561	<D.L.	<D.L.
91	2019-SV-09-Circulo C-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-09	San Vicente	17251	31.6	<D.L.	4.8	0.15	17.58	3.19	<D.L.	502.62	2.501	58.711	0.032	0.972	0.319	0.0133	<D.L.
92	2019-SV-011A-Circulo B-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-11A	San Vicente	9774	35.6	<D.L.	2.7	12.10	27.81	2.52	<D.L.	500.43	0.122	73.943	0.030	1.214	0.261	0.0102	<D.L.
93	2019-SV-011A-Circulo B-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-11A	San Vicente	18998	55.9	<D.L.	1.8	9.84	34.20	2.17	0.85	973.73	0.049	37.343	<D.L.	0.645	0.158	<D.L.	<D.L.
94	2019-SV-011A-Circulo B-ef - 3	ef4-SV	2019-SV-11A	San Vicente	10581	24.4	<D.L.	4.3	12.50	22.52	2.43	<D.L.	733.24	0.182	143.985	<D.L.	1.407	0.249	0.0075	<D.L.
95	2019-SV-011A-Circulo B-ef - 4	ef2-SV	2019-SV-11A	San Vicente	10598	19.1	5.5	3.7	14.57	13.05	2.67	1.07	759.43	0.078	136.726	<D.L.	0.821	0.369	<D.L.	<D.L.
96	2019-SV-011A-Circulo C-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-11A	San Vicente	21149	35.5	<D.L.	2.2	13.76	11.79	2.07	<D.L.	753.47	0.038	41.538	0.032	0.329	0.138	<D.L.	<D.L.
97	2019-SV-011A-Circulo C-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-11A	San Vicente	20536	23.8	<D.L.	2.9	20.17	8.76	2.07	0.84	597.98	0.056	71.112	0.029	0.421	0.164	<D.L.	<D.L.
98	2019-SV-011A-Circulo C-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-11A	San Vicente	16762	27.4	<D.L.	2.4	14.33	8.79	2.18	0.77	660.04	0.047	43.384	0.027	0.276	0.203	0.0069	<D.L.
99	2019-SV-011A-Circulo C-ef - 4	ef4-SV	2019-SV-11A	San Vicente	16235	21.9	4.5	2.6	17.26	6.83	2.12	<D.L.	531.06	0.049	62.727	<D.L.	0.341	0.157	<D.L.	<D.L.
100	2019-SV-011B-Circulo A-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	20997	16.4	<D.L.	3.4	19.58	4.28	2.01	<D.L.	745.93	0.068	65.003	<D.L.	0.230	0.191	<D.L.	<D.L.
101	2019-SV-011B-Circulo A-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	12378	27.7	<D.L.	4.9	16.29	40.88	2.30	<D.L.	603.05	0.120	54.478	<D.L.	0.589	0.155	0.0130	<D.L.
102	2019-SV-011B-Circulo A-ef - 3	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	21542	36.5	<D.L.	2.1	15.37	14.48	2.04	<D.L.	783.85	0.070	39.480	0.032	0.367	0.141	0.0086	<D.L.
103	2019-SV-011B-Circulo A-ef - 4	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	19422	20.6	<D.L.	3.4	18.80	9.28	1.94	0.64	770.07	0.095	83.155	0.026	0.544	0.203	<D.L.	<D.L.
104	2019-SV-011B-Circulo A-ef - 5	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	8342	23.3	4.0	2.7	8.40	7.40	2.46	<D.L.	311.61	0.065	50.144	<D.L.	0.364	0.200	0.0085	<D.L.
105	2019-SV-011B-Circulo B-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-11B	San Vicente	27788	27.5	<D.L.	10.6	18.38	11.77	5.37	<D.L.	440.96	0.376	94.712	0.079	0.720	0.382	0.0500	<D.L.
106	2019-SV-011B-Circulo B-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-11B	San Vicente	38867	57.0	<D.L.	6.8	19.26	15.99	4.63	<D.L.	529.00	0.175	93.720	<D.L.	0.859	0.306	0.0162	<D.L.
107	2019-SV-011B-Circulo C-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	26853	32.3	<D.L.	6.1	13.41	12.21	4.73	1.40	342.41	0.136	167.728	0.068	1.576	0.314	<D.L.	<D.L.
108	2019-SV-011B-Circulo C-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-11B	San Vicente	43271	58.6	<D.L.	6.3	12.34	14.43	4.45	<D.L.	432.83	0.176	132.259	<D.L.	1.158	0.327	0.0220	<D.L.
109	2019-SV-011B-Circulo C-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-11B	San Vicente	34371	48.8	<D.L.	5.3	6.56	16.78	4.02	1.72	328.12	0.842	116.523	0.070	1.120	0.297	0.0145	<D.L.
110	2019-SV-011B-Circulo D-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-11B	San Vicente	26178	26.0	<D.L.	7.8	37.23	12.78	4.29	1.39	428.26	0.109	179.677	0.101	1.194	0.216	<D.L.	<D.L.
111	2019-SV-011B-Circulo D-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-11B	San Vicente	32314	38.6	<D.L.	6.1	31.79	19.30	3.93	<D.L.	550.41	0.237	106.249	<D.L.	0.728	0.250	<D.L.	<D.L.
112	2019-SV-011B-Circulo D-ef - 3	ef1-SV	2019-SV-11B	San Vicente	33635	46.4	<D.L.	5.8	30.17	26.18	3.69	<D.L.	573.89	0.153	69.814	<D.L.	0.639	0.237	<D.L.	<D.L.
113	2019-SV-011C-Circulo A-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-11C	San Vicente	29301	23.9	<D.L.	4.3	22.57	7.16	4.00	<D.L.	638.72	0.064	127.044	0.041	0.630	0.208	<D.L.	<D.L.
114	2019-SV-011C-Circulo A-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-11C	San Vicente	28769	57.0	<D.L.	4.0	26.67	42.63	3.67	<D.L.	409.27	0.087	84.326	0.058	1.095	0.287	<D.L.	<D.L.
115	2019-SV-011C-Circulo B-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-11C	San Vicente	18194	23.5	6.8	7.9	15.02	10.14	4.29	<D.L.	425.03	0.324	119.718	<D.L.	0.853	0.301	0.0203	<D.L.
116	2019-SV-011C-Circulo B-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-11C	San Vicente	19512	51.2	<D.L.	5.3	12.38	25.92	3.98	<D.L.	404.98	0.062	118.979	<D.L.	1.338	0.292	<D.L.	<D.L.
117	2019-SV-011C-Circulo C-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-11C	San Vicente	24788	28.4	<D.L.	5.3	9.47	12.54	3.66	<D.L.	435.03	0.106	145.393	0.044	1.211	0.311	<D.L.	<D.L.

118	2019-SV-011C-Circulo C-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-11C	San Vicente	23086	34.9	6.4	6.7	9.24	20.23	3.55	<D.L.	467.75	0.076	80.306	<D.L.	0.758	0.260	<D.L.	<D.L.
119	2019-SV-012A-Circulo A-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-12A	San Vicente	20395	171.7	<D.L.	5.3	23.38	98.34	4.36	<D.L.	683.50	5.559	73.441	0.075	2.347	1.624	0.2823	<D.L.
120	2019-SV-012A-Circulo A-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-12A	San Vicente	43217	49.6	<D.L.	4.8	35.39	21.82	2.64	<D.L.	605.75	0.229	72.434	<D.L.	0.915	0.247	<D.L.	<D.L.
121	2019-SV-012A-Circulo B-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-12A	San Vicente	10057	22.9	<D.L.	13.2	32.05	21.54	4.42	1.96	311.17	0.220	62.353	0.044	0.652	0.314	0.0124	<D.L.
122	2019-SV-012A-Circulo C-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-12A	San Vicente	30904	50.1	<D.L.	5.1	20.23	35.80	3.19	<D.L.	994.83	0.596	42.482	<D.L.	0.761	0.377	0.0172	<D.L.
123	2019-SV-012A-Circulo C-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-12A	San Vicente	29582	76.6	<D.L.	2.7	15.65	69.40	3.11	<D.L.	939.23	0.289	48.251	<D.L.	1.282	0.296	<D.L.	<D.L.
124	2019-SV-012A-Circulo D-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-12A	San Vicente	13196	97.2	<D.L.	2.4	18.77	121.39	3.26	<D.L.	474.32	1.208	49.772	<D.L.	1.456	0.413	0.0463	<D.L.
125	2019-SV-012A-Circulo D-ef - 2	ef2-SV	2019-SV-12A	San Vicente	17684	67.6	5.3	5.4	15.77	87.47	3.01	1.07	939.93	1.223	49.728	<D.L.	1.530	0.746	0.0138	<D.L.
126	2019-SV-012B-Circulo A-ef - 1	ef3-SV	2019-SV-12B	San Vicente	18177	87.6	<D.L.	5.3	17.82	133.25	3.59	<D.L.	830.91	1.208	54.694	<D.L.	2.344	0.477	0.0438	<D.L.
127	2019-SV-012B-Circulo A-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-12B	San Vicente	11178	43.6	<D.L.	6.5	20.14	20.89	3.65	<D.L.	860.52	0.472	89.953	0.054	0.867	0.319	0.0480	<D.L.
128	2019-SV-012B-Circulo B-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-12B	San Vicente	18594	23.5	<D.L.	5.1	19.07	18.98	3.22	<D.L.	855.28	0.569	52.007	<D.L.	0.563	0.451	0.0229	<D.L.
129	2019-SV-012B-Circulo B-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-12B	San Vicente	20655	16.3	<D.L.	4.3	20.37	9.27	2.41	<D.L.	925.13	1.071	69.461	<D.L.	0.478	0.487	0.0189	<D.L.
130	2019-SV-013-Circulo A-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-13	San Vicente	41	174.4	14.3	17.3	<D.L.	3.30	5.20	<D.L.	3406.74	25.217	77.765	0.022	1.607	0.545	0.8111	<D.L.
131	2019-SV-013-Circulo A-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-13	San Vicente	56	238.8	5.7	19.6	<D.L.	3.51	4.74	<D.L.	3068.89	14.944	150.394	0.040	5.118	0.889	0.0691	<D.L.
132	2019-SV-013-Circulo B-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-13	San Vicente	92	367.8	<D.L.	10.4	<D.L.	5.04	5.16	<D.L.	4211.55	44.323	294.193	0.046	8.855	0.754	0.4827	<D.L.
133	2019-SV-013-Circulo B-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-13	San Vicente	68	242.7	22.2	32.7	<D.L.	3.36	4.54	<D.L.	4025.56	63.867	114.682	0.026	2.188	0.646	0.1720	<D.L.
134	2019-SV-013-Circulo C-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-13	San Vicente	107	247.8	<D.L.	5.8	<D.L.	4.67	4.89	<D.L.	3170.48	25.623	242.914	0.027	9.168	0.651	0.3907	<D.L.
135	2019-SV-013-Circulo C-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-13	San Vicente	122	310.7	<D.L.	12.9	<D.L.	5.11	4.76	<D.L.	3254.93	53.770	309.613	0.039	8.821	0.453	0.3629	<D.L.
136	2019-SV-014-Circulo A-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-14	San Vicente	25	278.3	<D.L.	14.4	<D.L.	3.44	4.13	1.01	2273.98	17.163	175.840	0.052	3.631	0.269	0.1280	<D.L.
137	2019-SV-014-Circulo A-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-14	San Vicente	20	208.7	18.2	25.6	<D.L.	3.22	4.30	<D.L.	3364.16	16.819	65.829	0.031	1.251	0.375	0.9082	<D.L.
138	2019-SV-014-Circulo B-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-14	San Vicente	33	318.1	18.1	32.1	<D.L.	3.48	5.19	1.23	3058.45	71.656	201.575	0.040	7.365	1.123	0.7692	<D.L.
139	2019-SV-014-Circulo B-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-14	San Vicente	47	308.4	4.1	14.8	<D.L.	3.43	4.13	<D.L.	2920.39	18.633	154.947	0.059	3.731	0.370	0.1892	<D.L.
140	2019-SV-014-Circulo C-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-14	San Vicente	15	375.9	10.3	21.9	<D.L.	3.91	4.38	<D.L.	3440.18	50.472	200.627	0.028	7.979	2.476	1.2006	0.0334
141	2019-SV-014-Circulo C-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-14	San Vicente	29	336.4	<D.L.	13.8	<D.L.	3.65	4.75	1.05	3645.06	47.369	156.425	<D.L.	7.546	1.140	0.9496	<D.L.
142	2019-SV-015A-Circulo A-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	371.4	236.0	105.6	<D.L.	5.82	7.33	<D.L.	5964.83	305.698	13.702	0.067	0.887	2.704	8.6144	<D.L.
143	2019-SV-015A-Circulo A-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	966.8	323.8	761.2	<D.L.	139.80	6.16	<D.L.	7783.27	25.412	342.084	0.101	24.705	0.321	0.2561	<D.L.
144	2019-SV-015A-Circulo B-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	466.2	369.7	1958.7	<D.L.	12.19	4.41	<D.L.	6361.03	13.696	1095.630	0.045	6.401	2.136	0.5383	<D.L.
145	2019-SV-015A-Circulo B-ef - 2	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	614.4	<D.L.	2584.8	<D.L.	10.70	4.05	<D.L.	7191.62	0.214	1284.214	0.039	4.451	0.289	0.0084	<D.L.
146	2019-SV-015A-Circulo B-ef - 3	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	365.0	640.2	589.7	<D.L.	6.04	5.74	<D.L.	5703.60	50.485	513.504	<D.L.	4.947	4.305	9.9616	<D.L.
147	2019-SV-015A-Circulo C-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	1160.8	116.0	205.1	<D.L.	82.15	5.08	<D.L.	9924.13	2.326	145.617	0.073	8.278	0.462	0.0759	<D.L.

148	2019-SV-015A-Circulo D-ef - 1	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	683.3	546.0	1335.2	<D.L.	17.62	6.24	<D.L.	6253.59	161.411	620.726	<D.L.	8.823	0.398	2.6399	<D.L.
149	2019-SV-015A-Circulo D-ef - 2	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	339.9	55.2	3028.8	<D.L.	6.56	5.54	<D.L.	4280.60	30.681	1860.870	0.044	6.767	0.321	0.4693	<D.L.
150	2019-SV-015A-Circulo D-ef - 3	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	187.3	432.7	106.5	<D.L.	3.70	6.81	1.69	3887.58	388.972	41.365	<D.L.	0.039	8.672	18.0636	<D.L.
151	2019-SV-015A-Circulo E-ef - 1	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	57	271.2	626.2	414.2	<D.L.	12.82	4.54	<D.L.	4229.52	63.834	375.176	0.072	1.633	5.838	8.1324	0.5333
152	2019-SV-015A-Circulo E-ef - 2	ef6-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	532.8	1149.4	847.0	<D.L.	11.10	4.77	<D.L.	5631.85	9.602	855.173	0.053	4.220	0.925	1.3175	0.0709
153	2019-SV-015A-Circulo E-ef - 3	ef5-SV	2019-SV-15A	San Vicente	<D.L.	425.2	1651.4	866.5	<D.L.	7.81	5.85	1.43	5126.12	996.768	566.402	0.080	3.670	16.489	12.5277	<D.L.
154	2019-SV-015B-Circulo A-ef - 1	ef5-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	204.4	1377.8	627.4	<D.L.	6.15	5.29	<D.L.	4641.46	5.472	966.505	0.028	0.279	1.045	2.2142	0.3508
155	2019-SV-015B-Circulo A-ef - 2	ef5-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	266.1	93.2	15.4	<D.L.	3.86	9.13	<D.L.	4697.04	87.544	0.178	0.044	0.009	0.335	3.7500	<D.L.
156	2019-SV-015B-Circulo A-ef - 3	ef5-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	524.3	2083.6	1563.4	<D.L.	84.67	4.32	<D.L.	8252.64	5.988	1534.156	0.032	9.641	0.697	1.2414	<D.L.
157	2019-SV-015B-Circulo B-ef cleofana - 1	ef7-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	593.3	206.0	30.1	<D.L.	3.83	8.43	1.05	4805.12	195.372	<D.L.	<D.L.	0.010	0.277	4.4939	<D.L.
158	2019-SV-015B-Circulo B-ef cleofana - 2	ef7-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	273.0	112.5	14.0	<D.L.	3.97	8.93	<D.L.	3817.26	99.064	0.164	<D.L.	<D.L.	0.223	4.9942	<D.L.
159	2019-SV-015B-Circulo B-ef cleofana - 3	ef7-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	381.2	96.2	21.9	<D.L.	3.96	8.50	<D.L.	4497.39	93.025	0.136	0.052	0.023	0.440	3.8546	<D.L.
160	2019-SV-015B-Circulo B-ef cleofana - 4	ef7-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	381.7	95.8	27.2	<D.L.	3.81	8.54	1.00	4355.98	92.340	0.233	0.037	0.010	0.277	3.7624	<D.L.
161	2019-SV-015B-Circulo B-ef cleofana - 5	ef7-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	486.4	172.4	46.1	<D.L.	4.76	8.35	<D.L.	4726.82	170.753	2.052	0.211	0.154	1.439	5.8222	<D.L.
162	2019-SV-015B-Circulo B-ef2 - 1	ef5-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	139.1	270.7	43.2	<D.L.	3.79	5.17	<D.L.	3489.13	200.170	39.328	0.055	0.018	0.639	8.1899	<D.L.
163	2019-SV-015B-Circulo C-ef - 1	ef6-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	145.7	18.6	8.7	<D.L.	3.52	6.07	1.42	4981.84	14.365	6.733	<D.L.	0.020	0.324	3.3832	<D.L.
164	2019-SV-015B-Circulo C-ef - 2	ef5-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	613.5	1729.9	1120.5	<D.L.	20.41	5.11	1.22	7568.99	228.489	1207.452	0.053	14.875	2.154	7.1599	1.2385
165	2019-SV-015B-Circulo C-ef - 3	ef5-SV	2019-SV-15B	San Vicente	<D.L.	287.3	1170.8	567.9	<D.L.	172.91	4.11	<D.L.	7180.13	11.647	702.473	0.044	3.437	0.306	2.6216	1.7946
166	2019-SV-016-Circulo A-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-16	San Vicente	21206	42.8	<D.L.	13.8	26.32	64.32	3.15	0.99	533.55	0.235	67.735	<D.L.	1.205	0.256	<D.L.	<D.L.
167	2019-SV-016-Circulo A-ef - 2	ef1-SV	2019-SV-16	San Vicente	41021	281.3	5.8	16.9	60.86	389.25	6.35	1.33	990.00	9.384	91.401	1.542	3.247	7.717	0.6549	2.2728
168	2019-SV-016-Circulo B-ef - 1	ef1-SV	2019-SV-16	San Vicente	16651	55.6	<D.L.	16.6	24.03	167.32	3.19	<D.L.	1023.19	0.779	71.465	0.030	2.604	0.259	<D.L.	<D.L.
169	2019-SV-016-Circulo D-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-16	San Vicente	20197	64.4	<D.L.	15.2	24.23	182.84	3.24	<D.L.	1240.53	4.029	68.789	0.033	3.075	2.175	0.2070	0.0628
170	2019-SV-016-Circulo D-ef - 1	ef2-SV	2019-SV-16	San Vicente	11533	20.6	<D.L.	7.0	24.99	28.38	4.64	<D.L.	184.98	0.052	62.351	<D.L.	0.419	0.299	<D.L.	0.0357
171	2019-SV-016-Circulo D-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-16	San Vicente	10772	10.6	<D.L.	11.8	32.19	16.08	3.44	<D.L.	459.57	0.481	89.276	<D.L.	0.725	0.461	0.0155	<D.L.
172	2019-SV-016-Circulo E-ef - 1	ef4-SV	2019-SV-16	San Vicente	8462	10.5	<D.L.	6.9	29.99	14.11	3.63	<D.L.	456.82	0.054	125.179	<D.L.	0.470	0.147	<D.L.	<D.L.
173	2019-SV-016-Circulo E-ef - 2	ef3-SV	2019-SV-16	San Vicente	12906	22.1	<D.L.	9.9	24.41	49.41	3.28	1.06	407.96	0.044	54.025	0.021	0.955	0.203	<D.L.	<D.L.
174	2019-SV-016-Circulo E-ef - 3	ef3-SV	2019-SV-16	San Vicente	5426	7.4	<D.L.	7.1	33.41	7.71	3.50	<D.L.	290.27	0.106	155.986	<D.L.	0.573	0.272	<D.L.	<D.L.
175	2019-SH-31-Circulo A-ef - 1	ef3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	1820	<D.L.	294.2	376.0	<D.L.	23.86	771.55	1.12	5824.13	0.090	370.627	<D.L.	1.023	0.189	<D.L.	92.7958
176	2019-SH-31-Circulo A-ef - 2	ef3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	622	7.5	9.9	7.0	<D.L.	83.64	3.04	<D.L.	4309.08	0.094	14.998	0.065	21.542	0.272	<D.L.	292.4519
177	2019-SH-31-Circulo A-ef - 3	ef3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	1032	6.2	45.7	266.7	<D.L.	26.34	65.59	<D.L.	2425.50	0.153	181.427	0.081	2.518	0.244	<D.L.	62.1399

178	2019-SH-31-Circulo A-ef - 4	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	1049	1.7	22.8	695.2	<D.L.	5.03	233.37	<D.L.	4402.11	0.061	385.949	<D.L.	1.492	0.176	0.0059	7.4146
179	2019-SH-31-Circulo B-ef - 1	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	952	7.9	13.9	6.7	<D.L.	158.68	3.68	<D.L.	3835.88	0.171	36.421	0.507	34.762	0.246	<D.L.	407.1868
180	2019-SH-31-Circulo B-ef - 2	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	1583	<D.L.	281.8	954.0	<D.L.	32.84	441.78	<D.L.	4684.54	0.530	671.672	<D.L.	4.779	0.169	<D.L.	129.3410
181	2019-SH-31-Circulo B-ef - 3	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	792	<D.L.	<D.L.	1599.8	<D.L.	8.17	187.54	<D.L.	3060.79	0.034	965.935	<D.L.	4.625	0.174	0.0084	22.1765
182	2019-SH-31-Circulo C-ef - 1	e4-SH	2019-SH-31	Shalipayco	882	3.2	548.5	1469.3	<D.L.	13.58	301.04	<D.L.	3010.48	0.157	1119.373	<D.L.	3.784	0.207	<D.L.	44.6566
183	2019-SH-31-Circulo C-ef - 2	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	914	6.9	262.1	1247.8	<D.L.	15.35	327.47	<D.L.	3385.15	0.081	809.581	0.036	4.153	0.179	<D.L.	51.3299
184	2019-SH-31-Circulo C-ef - 3	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	1821	1.9	561.2	465.8	<D.L.	39.96	486.49	<D.L.	4780.54	3.088	397.417	0.062	1.539	0.241	<D.L.	150.8779
185	2019-SH-31-Circulo C-ef - 4	e3-SH	2019-SH-31	Shalipayco	1200	<D.L.	<D.L.	648.4	<D.L.	6.51	315.98	<D.L.	6273.88	0.076	309.745	<D.L.	0.447	0.205	<D.L.	10.6074
186	2019-SH-120-Circulo A-ef - 1	e2-SH	2019-SH-120	Shalipayco	15130	6.9	<D.L.	54.4	0.15	8.04	411.16	<D.L.	2480.59	1.264	30.502	<D.L.	0.464	0.203	<D.L.	50.1626
187	2019-SH-120-Circulo A-ef - 2	e2-SH	2019-SH-120	Shalipayco	34859	14.2	<D.L.	11.7	0.42	34.71	561.89	<D.L.	2295.43	0.062	115.104	0.027	4.456	0.179	<D.L.	188.0084
188	2019-SH-120-Circulo A-ef - 3	e2-SH	2019-SH-120	Shalipayco	37888	13.5	<D.L.	25.9	0.56	8.13	183.51	1.02	1501.11	0.032	268.841	0.044	1.928	0.156	<D.L.	129.7689
189	2019-SH-120-Circulo B-ef - 1	e2-SH	2019-SH-120	Shalipayco	3116	<D.L.	<D.L.	14.1	<D.L.	4.18	654.68	<D.L.	2531.68	1.036	4.493	<D.L.	0.037	0.285	<D.L.	6.2812
190	2019-SH-120-Circulo B-ef - 2	e2-SH	2019-SH-120	Shalipayco	19665	7.8	<D.L.	51.8	0.57	14.50	407.70	<D.L.	2089.57	1.209	182.759	<D.L.	2.427	0.272	<D.L.	143.5648
191	2019-SH-120-Circulo B-ef - 3	e2-SH	2019-SH-120	Shalipayco	18937	13.9	<D.L.	19.6	0.41	38.36	451.18	<D.L.	1709.67	0.412	41.756	<D.L.	6.701	0.256	<D.L.	412.2374
192	2019-SH-167-Circulo A-ef - 1	e2-SH	2019-SH-167	Shalipayco	1642	3.2	<D.L.	430.6	<D.L.	13.20	50.15	<D.L.	7687.14	0.061	249.255	<D.L.	1.526	0.299	<D.L.	53.0953
193	2019-SH-167-Circulo A-ef - 2	e2-SH	2019-SH-167	Shalipayco	1129	<D.L.	<D.L.	478.2	<D.L.	3.97	41.61	<D.L.	4327.01	0.041	300.953	0.030	0.975	0.250	<D.L.	5.7376
194	2019-SH-167-Circulo A-ef - 3	e3-SH	2019-SH-167	Shalipayco	917	<D.L.	5.8	461.9	<D.L.	5.36	24.44	<D.L.	4501.81	2.834	315.621	0.034	1.202	0.282	0.0281	12.2692
195	2019-SH-167-Circulo A-ef - 4	e3-SH	2019-SH-167	Shalipayco	784	<D.L.	16.4	1118.8	<D.L.	17.44	112.17	<D.L.	3906.76	0.110	786.536	<D.L.	5.461	0.229	<D.L.	51.6605
196	2019-SH-167-Circulo B-ef - 1	e3-SH	2019-SH-167	Shalipayco	666	<D.L.	210.2	30.2	<D.L.	9.25	116.99	<D.L.	2633.98	15.881	149.592	<D.L.	0.271	0.316	0.0233	20.4420
197	2019-SH-167-Circulo B-ef - 2	e3-SH	2019-SH-167	Shalipayco	801	<D.L.	998.8	60.9	<D.L.	45.25	81.03	<D.L.	3428.03	15.835	467.883	<D.L.	0.159	0.151	0.1607	150.1054
198	2019-SH-167-Circulo B-ef - 3	e3-SH	2019-SH-167	Shalipayco	181	<D.L.	<D.L.	763.2	<D.L.	18.15	7.78	1.16	7048.09	0.078	733.615	<D.L.	10.133	0.232	<D.L.	80.7921
199	2019-SH-167-Circulo B-ef - 4	e3-SH	2019-SH-167	Shalipayco	412	<D.L.	<D.L.	516.6	<D.L.	5.55	10.84	<D.L.	5968.57	0.067	636.382	<D.L.	1.721	0.256	<D.L.	7.5472
200	2019-SH-167-Circulo C-ef - 1	e2-SH	2019-SH-167	Shalipayco	523	<D.L.	5090.1	184.9	<D.L.	895.61	419.58	0.75	4031.61	474.895	731.290	0.033	0.431	0.248	1.1458	2237.5376
201	2019-SH-167-Circulo C-ef - 2	e2-SH	2019-SH-167	Shalipayco	384	<D.L.	<D.L.	320.2	<D.L.	5.42	12.05	0.87	7264.54	0.099	503.453	<D.L.	1.333	0.264	<D.L.	6.6620
202	2019-SH-167-Circulo C-ef - 3	e2-SH	2019-SH-167	Shalipayco	437	<D.L.	<D.L.	511.9	<D.L.	7.67	8.74	<D.L.	4936.32	0.243	383.733	<D.L.	2.161	0.203	<D.L.	11.4760
203	2019-SH-167-Circulo C-ef - 4	e2-SH	2019-SH-167	Shalipayco	820	<D.L.	442.0	234.6	<D.L.	12.58	112.67	0.80	4442.71	0.102	433.536	<D.L.	1.442	0.250	<D.L.	37.1121
204	2019-SH-187-Circulo A-ef - 1	e3-SH	2019-SH-187	Shalipayco	6146	2.2	<D.L.	323.5	18.74	18.22	73.75	<D.L.	2434.47	0.064	107.075	<D.L.	1.072	0.184	0.0078	75.4808
205	2019-SH-187-Circulo A-ef - 2	e3-SH	2019-SH-187	Shalipayco	16416	3.5	<D.L.	176.9	18.73	28.48	302.54	1.29	4178.75	0.469	62.146	0.023	1.251	0.178	<D.L.	108.5267
206	2019-SH-187-Circulo A-ef - 3	e3-SH	2019-SH-187	Shalipayco	9881	1.8	4.9	5.6	25.78	4.97	146.19	0.99	3346.42	0.057	3.981	0.029	0.018	0.174	<D.L.	1.1672
207	2019-SH-187-Circulo A-ef - 4	e3-SH	2019-SH-187	Shalipayco	22783	7.0	<D.L.	36.3	28.50	20.98	178.98	<D.L.	3309.59	0.840	16.657	<D.L.	0.767	0.165	<D.L.	31.2945

208	2019-SH-187-Circulo C-ef - 1	ef3-SH	2019-SH-187	Shalipayco	8139	5.7	<D.L.	50.1	13.85	18.28	121.36	<D.L.	3504.30	0.866	6.890	0.029	0.445	0.275	2.5847	5.6443
209	2019-SH-187-Circulo C-ef - 2	ef3-SH	2019-SH-187	Shalipayco	8035	5.2	<D.L.	126.2	11.18	8.34	93.11	1.43	3494.35	<D.L.	2.670	<D.L.	0.216	0.154	<D.L.	14.6166
210	2019-SH-187-Circulo C-ef - 3	ef2-SH	2019-SH-187	Shalipayco	10975	<D.L.	<D.L.	163.0	18.38	62.48	780.06	<D.L.	5956.52	1.049	51.892	0.180	1.663	0.196	0.0328	99.9684
211	2019-SH-212-Circulo A-ef - 1	ef3-SH	2019-SH-212	Shalipayco	1003	<D.L.	87.6	70.2	<D.L.	7.71	158.63	<D.L.	3787.91	10.101	98.673	<D.L.	0.054	0.517	0.0794	5.4856
212	2019-SH-212-Circulo A-ef - 2	ef4-SH	2019-SH-212	Shalipayco	706	<D.L.	140.7	325.5	<D.L.	7.81	57.03	<D.L.	2134.25	23.136	296.933	<D.L.	0.589	4.288	0.1864	8.2460
213	2019-SH-212-Circulo A-ef - 3	ef3-SH	2019-SH-212	Shalipayco	1082	2.2	<D.L.	44.0	<D.L.	6.10	59.38	<D.L.	4819.68	1.011	27.509	<D.L.	0.011	0.245	<D.L.	0.0696
214	2019-SH-212-Circulo A-ef - 4	ef4-SH	2019-SH-212	Shalipayco	786	<D.L.	30.8	539.9	<D.L.	12.43	45.50	<D.L.	2505.23	31.293	303.690	0.030	0.591	0.557	0.0690	21.6942
215	2019-SH-212-Circulo B-ef - 1	ef3-SH	2019-SH-212	Shalipayco	1360	1.5	6.4	234.3	<D.L.	14.00	92.44	<D.L.	5028.76	8.970	114.116	0.033	0.229	0.283	0.0195	21.8830
216	2019-SH-212-Circulo B-ef - 2	ef4-SH	2019-SH-212	Shalipayco	486	<D.L.	<D.L.	544.6	<D.L.	7.50	48.56	<D.L.	4058.03	0.179	379.324	<D.L.	1.960	0.200	<D.L.	8.3238
217	2019-SH-212-Circulo B-ef - 3	ef4-SH	2019-SH-212	Shalipayco	424	<D.L.	5.3	603.5	<D.L.	7.31	52.15	0.74	3400.17	0.073	370.136	0.028	1.917	0.182	<D.L.	5.6756
218	2019-SH-212-Circulo B-ef - 4	ef4-SH	2019-SH-212	Shalipayco	666	<D.L.	163.7	176.3	<D.L.	8.02	71.36	<D.L.	2179.78	19.037	236.103	<D.L.	0.343	3.939	0.5710	5.5127
219	SH-227-Circulo B-ef - 1	ef3-SH	2019-SH-227	Shalipayco	577	<D.L.	<D.L.	356.2	<D.L.	7.30	91.37	0.73	3652.43	0.544	206.604	<D.L.	0.736	0.187	<D.L.	4.1600
220	SH-227-Circulo B-ef - 2	ef3-SH	2019-SH-227	Shalipayco	1376	<D.L.	101.4	388.8	<D.L.	12.30	285.14	<D.L.	4056.73	31.826	303.920	<D.L.	0.612	0.265	0.1334	23.9517
221	SH-227-Circulo B-ef - 3	ef3-SH	2019-SH-227	Shalipayco	642	<D.L.	1148.7	72.7	<D.L.	76.95	319.27	<D.L.	3828.78	19.067	466.732	<D.L.	0.207	0.223	<D.L.	273.2148
222	SH-227-Circulo A-ef - 1	ef4-SH	2019-SH-227	Shalipayco	659	<D.L.	<D.L.	274.2	<D.L.	7.81	91.02	<D.L.	3547.79	3.122	156.400	<D.L.	0.457	0.228	<D.L.	3.8730
223	SH-227-Circulo A-ef - 2	ef3-SH	2019-SH-227	Shalipayco	1077	<D.L.	12.5	494.6	<D.L.	12.67	76.59	0.68	4269.81	1.118	336.846	<D.L.	2.574	0.202	<D.L.	29.0540
224	SH-227-Circulo A-ef - 3	ef3-SH	2019-SH-227	Shalipayco	479	<D.L.	1347.0	68.4	<D.L.	92.91	221.62	<D.L.	2651.18	20.387	640.191	0.062	0.270	0.230	<D.L.	309.2697

