

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Análisis mineralógico aplicado a los concentrados de Pb-Zn y la  
influencia en su recuperación en Sociedad Minera El Brocal S. A. A. –  
Tinyahuarco – Pasco – 2020**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor:**

**Bach. Isau DE LA CRUZ CAHUANA**

**Asesor:**

**Mg. Jonás Ananías RAMOS MARTINEZ**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Análisis mineralógico aplicado a los concentrados de Pb-Zn y la  
influencia en su recuperación en Sociedad Minera El Brocal S. A. A. –  
Tinyahuarco – Pasco – 2020**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Dr. Ramiro SIUSE BONIFACIO  
PRESIDENTE

---

Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN  
MIEMBRO

---

Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por todo el apoyo incondicional durante mi formación profesional, por sus sabios consejos, por los valores inculcados y sobre todo por ser el soporte en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Mediante la presente investigación expreso mis sinceros agradecimientos:

- A Dios por brindarme vida y salud.
- A mis padres por el apoyo incondicional en las diferentes etapas de formación académica y por ser el impulso para lograr mis proyectos de vida.
- A mi casa superior de estudios Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, especialmente a mis docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, quienes aportaron en mi formación profesional.
- A los trabajadores de la Sociedad Minera El Brocal, en especial a quienes laboran en la Planta Concentradora; por contribuir con la recolección de datos e información para mi investigación.

## RESUMEN

La presente investigación se refiere al análisis mineralógico aplicado a los concentrados de Pb – Zn usando las técnicas de microscopía óptica de luz reflejada, microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos x, aplicando estos recursos de forma conjunta, con la finalidad de demostrar su influencia en la recuperación de los concentrados de Pb y Zn en Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

El análisis mineralógico de la muestra perteneciente al concentrado de plomo presentó una concentración adecuada de galena y para el concentrado de zinc se presentó una concentración adecuada de esfalerita, a través de las celdas de flotación, siendo consistente con los análisis químicos. La galena y esfalerita se encuentran en un tamaño inferior a los 76 micrones.

Los análisis de liberación y asociaciones de la galena en el concentrado de Pb evidencian 91.6% de galenas libres. Las principales asociaciones de la galena son con la esfalerita y pirita, estando principalmente de manera lateral en la muestra evaluada. Respecto a los minerales metálicos que se encuentran en trazas, se ha identificado partículas libres de enargita y cobres grises asociado principalmente a calcopirita. Asimismo, los análisis de liberación y asociaciones de la esfalerita en la muestra de concentrado de Pb presentan un porcentaje estimado de esfaleritas libres de un 10.8%, teniendo un tamaño de 100% por debajo de los 76 micrones. El principal intercrecimiento de la esfalerita se manifiesta como esfalerita-galena. Las asociaciones de la esfalerita son principalmente de tipo lateral.

Los análisis de liberación y asociaciones de la esfalerita en el concentrado de Zn evidencian 95 % de esfaleritas libres. La principal asociación de la esfalerita es con galena, seguido de pirita; en menor proporción se encuentra asociado a ganga, hematita, calcopirita y marcasita. Las asociaciones de la esfalerita son principalmente de tipo

lateral. Asimismo, los análisis de liberación y asociaciones de la galena en la muestra de concentrado de Zn presentan un porcentaje estimado de galenas libres sobre un 46%, teniendo un tamaño de 100% por debajo de los 76 micrones. El principal intercrecimiento de la galena se manifiesta en esfalerita, seguido de asociaciones con pirita, ganga; y en menor proporción con hematita, calcopirita, covelita y marcasita. Las asociaciones de la galena son principalmente de tipo lateral, llegando a un estimado por sobre el 95%.

**Palabras clave:** Evaluación mineralógica, galena, esfalerita.

## ABSTRACT

This research refers to the mineralogical analysis applied to Pb - Zn concentrates using the techniques of reflected light optical microscopy, scanning electron microscopy and x-ray diffraction, applying these resources together, in order to demonstrate their influence in the recovery of Pb and Zn concentrates at Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

The mineralogical analysis of the sample belonging to the lead concentrate showed an adequate concentration of galena and for the zinc concentrate an adequate concentration of sphalerite was presented through the flotation cells, being consistent with the chemical analyses. Galena and sphalerite are less than 76 microns in size.

The analysis of release and associations of galena in the Pb concentrate show 91.6% of free galenas. The main associations of galena are with sphalerite and pyrite, being mainly lateral in the evaluated sample. Regarding the metallic minerals found in traces, free particles of enargite and gray copper have been identified, mainly associated with chalcopyrite. Likewise, the release analyzes and sphalerite associations in the Pb concentrate sample show an estimated percentage of free sphalerites of 10.8%, with a size of 100% below 76 microns. The main sphalerite intergrowth manifests as sphalerite-galena. Sphalerite associations are mainly of the lateral type.

Release analyzes and sphalerite associations in the Zn concentrate show 95% free sphalerite. The main association of sphalerite is with galena, followed by pyrite; to a lesser extent it is associated with gangue, hematite, chalcopyrite and marcasite. Sphalerite associations are mainly of the lateral type. Likewise, the analysis of release and associations of galena in the Zn concentrate sample show an estimated percentage of free galenas over 46%, with a size of 100% below 76 microns. The main intergrowth of galena is manifested in sphalerite, followed by associations with pyrite, gangue; and to a lesser

extent with hematite, chalcopyrite, covellite and marcasite. Galena associations are mainly of the lateral type, reaching an estimate of over 95%.

**Keywords:** Mineralogical evaluation, galena, sphalerite.

## INTRODUCCIÓN

Durante la pandemia en el año 2020, nuestra sociedad afrontó una de las crisis sanitarias y económicas más graves del último siglo. La economía mundial entró en recesión, a nivel nacional la crisis sanitaria sumado a las restricciones provocaron la paralización del 35 % de la economía, según CONFIEP. Para Sociedad Minera El Brocal la producción obtenida bajó considerablemente en relación al año 2019, debido principalmente a esta situación.

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de Planta Concentradora N° 2 de Sociedad Minera El Brocal, con el objetivo de evaluar la mineralogía presente en los concentrados de Pb y Zn, mediante ensayos con microscopio óptico de Luz Reflejada, microscopio electrónico de barrido y difracción de rayos X.

Estos estudios derivados de la caracterización y análisis, aportarán información valiosa y serán el soporte en la toma de decisiones para la optimización de los procesos de recuperación, esto permitirá el incremento de la eficiencia en el tratamiento de minerales.

En el **Capítulo I:** Problema de Investigación, se ha considerado la identificación y determinación del problema, delimitación de la investigación, formulación del problema, formulación de objetivos, justificación y limitaciones de la investigación ;En el **Capítulo II:** Marco Teórico, donde se ha considerado los antecedentes del estudio a nivel nacional y a nivel local, bases teóricas y científicas de la mineralogía, métodos de caracterización mineralógica, difracción de rayos X (DRX) en la industria minera, microscopía óptica de luz reflejada aplicada a Flotación, análisis mineralógico de grado de liberación, microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Definición de términos básicos, formulación de hipótesis, Identificación de las variables y definición operacional de variables e indicadores; En el **Capítulo III:** Metodología Y Técnicas de investigación,

se da a conocer la metodología para la realización de la investigación, Técnicas e instrumentos de recolección de datos, Técnicas de procesamiento y análisis de datos, tratamiento estadístico de datos, selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de Investigación y orientación ética; En el **Capítulo IV**: Resultados y discusión, en este capítulo se ha considerado la descripción del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de resultados de las Muestras de los Concentrados de Pb y Zn , prueba de hipótesis y discusión de resultados; Conclusiones Y Recomendaciones, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y las recomendaciones para posibles futuras investigaciones.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.3. Formulación del problema .....	3
1.3.1. Problema general .....	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. Justificación de la investigación .....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	6
2.2. Bases teóricas - científicas .....	10
2.3. Definición de términos básicos .....	32
2.4. Formulación de hipótesis .....	34
2.4.1. Hipótesis general .....	34
2.4.2. Hipótesis específicas.....	34
2.5. Identificación de las variables.....	35
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de investigación.....	39
3.2. Nivel de investigación.....	39
3.3. Métodos de investigación.....	39
3.4. Diseño de investigación .....	40
3.5. Población y muestra.....	40
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.7. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación .....	43
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	43
3.9. Tratamiento estadístico .....	46
3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica.....	47

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	48
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	48
4.2.1. Caracterización mineralógica del Pb .....	48
4.2.2. Caracterización mineralógica del Zn .....	69
4.3. Prueba de Hipótesis.....	81
4.4. Discusión de resultados:.....	84
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES .....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Mineralogía de algunas menas de cobre.....	13
<b>Tabla 2.</b> Arreglos texturales y liberación de partículas .....	23
<b>Tabla 3.</b> Matriz de consistencia .....	36
<b>Tabla 4.</b> Muestra Concentrado de Pb.....	48
<b>Tabla 5.</b> Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en galena.....	50
<b>Tabla 6.</b> Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en esfalerita.....	51
<b>Tabla 7.</b> Fotomicrografías de la muestra de Concentrado de Pb – MO LR .....	52
<b>Tabla 8.</b> Fotomicrografía de la muestra de Concentrado de Pb - MEB.....	55
<b>Tabla 9.</b> Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra “Concentrado Pb” .....	56
<b>Tabla 10.</b> Análisis del grado de liberación del concentrado de Pb.....	67
<b>Tabla 11.</b> Muestra Concentrado de Zn.....	69
<b>Tabla 12.</b> Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en esfalerita.....	71
<b>Tabla 13.</b> Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en galena.....	72
<b>Tabla 14.</b> Fotomicrografías de la muestra de Concentrado de Zn – MO LR .....	73
<b>Tabla 15.</b> Fotomicrografía de la muestra de Concentrado de Zn - MEB .....	76
<b>Tabla 16.</b> Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra “Concentrado Zn” .....	76
<b>Tabla 17.</b> Análisis del grado de liberación .....	79
<b>Tabla 18.</b> Resultados de análisis microscópico de grados de libertad del año 2018. ....	82
<b>Tabla 19.</b> Resultados de análisis microscópico de grados de libertad del año 2019. ....	82
<b>Tabla 20.</b> Resultados de análisis microscópico de grados de libertad del año 2019. ....	82
<b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza (ANOVA).....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. La mineralogía y su relación con otras ciencias. ....	11
Figura N°2. Técnica de caracterización mineralógica.....	14
Figura N°3. Proceso de análisis mineralógico de minerales arcillosos.....	18
Figura N°4. Microscopio electrónico de barrido, sistema de detección de electrones...21	
Figura N°5. Método de cuantificación a través del tiempo. ....	25
Figura N°6. Clasificación de las partículas mixtas según su contenido de mineral en estudio.....	26
Figura N°7. Análisis de imágenes. ....	28
Figura N°8. Ejemplo de unión entre minerales. ....	30
Figura N°9. Tipos de intercrecimiento mineral. ....	31
Figura N°10. Caracterización mineralógica mediante análisis digital de imagen.....	32
Figura N°11. Esquema del proceso del estudio.....	40
Figura N°12. Reservas totales de mineral SMEB por año. ....	42
Figura N°13. Modelo de análisis mineralógico grado de liberación.....	46
Figura N°14. Aumento 2370x. Partículas libres de galena (gn). Intercrecimiento de calcopirita (cp), idaita (idt) y covelita (cv). ....	57
Figura N°15. Aumento 1000x. Partículas libres de galena (gn) y enargita (en). Pirita intercrecido con galena (py-gn). ....	58
Figura N°16. Aumento 1140x. Partículas libres de enargita (en) y galena (gn). ....	58
Figura N°17. Aumento 574x. Partículas libres de enargita (en) y galena (gn). ....	59
Figura N°18. Aumento 1080x. Partículas libres de esfalerita (ef) y enargita (en). ....	59
Figura N°19. Aumento 903x. Partículas libres de esfalerita (ef), Asociación lateral de (Gn). ....	60
Figura N°20. Aumento 1050x. Partículas libres de enargita con antimonio (en_Sb ). ..	60

Figura N°21. Aumento 1270x. Partículas libres de enargita (en), esfalerita (ef) y galena (gn). .....	61
Figura N°22. Aumento 974x. Partícula libre de galena (gn). Diseminaciones de tennantita en enargita (en). .....	61
Figura N°23. Aumento 1310x. Intercrecimiento de tennantita (tnn), tennantita con plata (tnn), calcopirita (cp) y pearceita (per). Presenta una inclusión en el borde de galena (gn). .....	62
Figura N°24. Aumento 1200x. Partículas libres de enargita (en) y pirita (py). .....	62
Figura N°25. Aumento 1200x. Partículas libres de enargita (en) y pirita (py). .....	63
Figura N°26. Aumento 1310x. Partícula libre de enargita (en). .....	63
Figura N°27. Aumento 907x. oclusión de pirita (py) en enargita (en). .....	64
Figura N°28. Aumento 1300 x. Partículas libres de galena (gn) y covelita (cv). .....	64
Figura N°29. Aumento 1630x. Diseminaciones de pirita (py) en colusita (cls). .....	65
Figura N°30. Aumento 480x. Partículas libres de enargita (en). .....	65
Figura N°31. Aumento 1150x. oclusión de pirita (py) en enargita. .....	66
Figura N°32. Aumento 3590x. Intercrecimiento de esfalerita con indio (ef_In), galena (gn) y roquesita (rqs). .....	77

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 1.</b> Grado de Liberación de las especies - Concentrado de Pb. ....	68
<b>Gráfico N° 2.</b> Intercrecimientos y Asociaciones - Concentrado de Pb. ....	68
<b>Gráfico N° 3.</b> Representación de Volumen y Peso - Concentrado de Pb. ....	68
<b>Gráfico N° 4.</b> Grado de Liberación de las especies - Concentrado de Zn. ....	80
<b>Gráfico N° 5.</b> Intercrecimientos y Asociaciones - Concentrado de Zn. ....	80
<b>Gráfico N° 6.</b> Representación de Volumen y Peso - Concentrado de Zn. ....	80

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Sociedad Minera El Brocal S.A.A., se dedica a la extracción, concentración y comercialización de minerales de Pb, Zn, Cu y como subproductos se encuentra Ag, Pt y Au. En la Mina Colquijirca en dos sectores: Explotación Superficial (open pit), Tajo Norte, que extrae minerales de Pb, Zn y Cu; y Marcapunta, mina subterránea de minerales de Cu. Asimismo, cuenta con dos plantas concentradoras (Planta Nro:1-Cu; Planta Nro: 2-Pb, Zn), para procesar el mineral extraído, con capacidad instalada de tratamiento de 18 000 TMD.

Las empresas mineras, a menudo evalúan la eficiencia del proceso de las plantas concentradoras de mineral, tomando en cuenta solamente los resultados de los análisis químicos de los elementos importantes, dejando de lado los estudios mineralógicos que determinan factores importantes como: las especies minerales, morfología, dimensiones y asociaciones de minerales.

La mineralogía, en la actualidad viene hacer una disciplina muy importante para ser aplicada en los procesos mineros. SMEB puede aprovechar esta ciencia, para optimizar el procesamiento del mineral en las plantas de tratamiento. Para cumplir esta labor es indispensable caracterizar la mineralogía del yacimiento, además de sus leyes, tonelaje y extensión.

Enrique, (2015) La explotación de un yacimiento minero debe ser en base en los minerales presentes y no solo considerar las leyes y tonelajes. Asimismo, la mineralogía indicará la forma óptima de procesarlo, los equipos y reactivos que serán necesarios. El valor de un concentrado varía de acuerdo con los minerales presentes en el yacimiento; ejemplo, el mineral de cobre con calcosita tiene 79.8% de Cu y cobre con calcopirita solo tiene 34.6% de Cu.

Finalmente, resulta fundamental la caracterización de las menas y gangas que serán procesadas en las plantas concentradoras, con la finalidad de que la información obtenida sirva para tomar decisiones correctas al momento del procesamiento.

En SMEB, se tiene tendencia a la baja de recuperación de Pb-Zn, en los procesos metalúrgicos, debido a la caracterización mineralógica del mineral de mena y subproductos de ganga analizados en el laboratorio metalúrgico, donde los ensayos de microscopía, de barrido y rayos X, nos dan indicadores en porcentajes para mejorar la recuperación con reactivos y mallas de molienda.

Luego de haber analizada, nos planteamos la siguiente interrogante:

¿Cuáles serán los resultados del análisis mineralógico a los concentrados de Pb – Zn y la influencia de su recuperación en Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?

## **1.2. Delimitación de la investigación**

## **Delimitación Espacial**

El estudio se ha desarrollado en las instalaciones del Laboratorio metalúrgico de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Tinyahuarco, Pasco, Pasco.

## **Delimitación Temporal**

11 meses, 03 de enero del 2020 – 30 de noviembre del 2020.

### **1.3. Formulación del problema**

La presente investigación ante los diversos problemas para la toma de decisiones en el procesamiento de minerales está dirigida a buscar las respuestas necesarias a las siguientes interrogantes:

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál será la influencia del análisis mineralógico aplicado a los concentrados de Pb y Zn en su recuperación en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.- Tinyahuarco - Pasco - 2020?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son las características mineralógicas de los concentrados de Pb y Zn de la Sociedad Minera El Brocal S. A. A.?
2. ¿Cuál será el grado de liberación de los minerales en los concentrados de Pb y Zn de la Sociedad Minera El Brocal S. A. A.?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar el análisis mineralógico a los concentrados de Pb – Zn y la influencia de su recuperación en Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar la mineralogía presente en los concentrados de Pb y Zn.

2. Determinar el grado de liberación del mineral valioso en las diferentes mallas de los concentrados de Pb y Zn.

### **1.5. Justificación de la investigación**

Sociedad Minera El Brocal necesita optimizar continuamente sus procesos operativos, para mejorar su rentabilidad; por tal motivo, la presente investigación plantea recurrir a las diferentes tecnologías de análisis mineralógicos, con la finalidad de incrementar la producción, mejorar la recuperación durante el proceso de flotación en la planta concentradora N° 2 (Plomo-Zinc) de SMEB.

La investigación está enmarcada en demostrar la importancia del análisis mineralógico de los concentrados de flotación de Pb y Zn, mediante las técnicas de microscopía óptica de luz reflejada, microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos x, aplicando estos recursos de forma conjunta, ya que se complementan para conseguir la información completa. Finalmente, SMEB mediante la interpretación de los resultados del estudio podrá establecer los mecanismos que se requieren para aumentar la calidad de los concentrados de Pb y Zn sin bajar la recuperación.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

#### **Limitaciones económicas**

En el presente estudio de investigación se puede detectar las siguientes limitaciones: financiamiento para el desarrollo del estudio y falta de algunos equipos de laboratorio. Las limitaciones en cuanto al apoyo de la empresa no se han encontrado.

#### **Limitación espacial**

La presente investigación se aplica en la unidad minera SMEB la cual tiene características muy singulares y particulares referidas al proceso de recuperación de concentrado de Pb-Zn.

### **Limitación temporal**

La investigación requiere de mayor amplitud en el tiempo debido a que se ha ejecutado en un periodo menor a un año la cual se tiene que continuar con los ajustes y ensayos en base a los resultados obtenidos.

### **Limitaciones de acceso a la información**

La empresa por ser privada restringe el acceso a toda información de carácter confidencial.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **Antecedentes a nivel internacional**

Lucas, T. (2015) En su investigación titulada “Caracterización mineralógica del proceso metalúrgico y su impacto en la producción de concentrados de Cu Y Mo En CMDIC - Chile” menciona lo siguiente: El objetivo del estudio es identificar especies capaces de generar problemas a los concentrados en su recuperación donde se evalúa la caracterización mineralógica mediante el análisis con las técnicas Qemscan, ICP-OES, extracción parcial, XRF, XRD, microscopia de luz transmitida y absorción atómica. Los resultados que se encontró que la calcopirita controlaría el comportamiento del Zn, el Pb y el Sb, 3 penalties para el concentrado de Cu, al igual que el Bi el que estaría controlado por reemplazos en la estructura de la tenantita. La pirita por su parte controlaría parte del comportamiento del As, otro penalty para el concentrado de Cu. Con el factor de concentración, se calculó la concentración inicial máxima de cada penalty para que esté bajo el límite permitido en el concentrado final. Con

esta información se pueden determinar bloques potencialmente problemáticos y prever su impacto antes de ser procesados.

La pirita sería el mineral que explicaría junto a la enargita/tenantita el comportamiento del As producto de la presencia de este elemento como impurezas en ella. La calcopirita determina parte del comportamiento del Zn junto a la esfalerita y todo el comportamiento del Pb y el Sb porque estos elementos se encuentran reemplazando al Cu o el Fe en la calcopirita. El Bi tiene la más alta correlación con la enargita/tenantita y además es común su sustitución en la tenantita.

### **Antecedentes a nivel Nacional**

Alfonso, (2017) En su investigación titulada: “Evaluación mineralógica de los minerales en los concentrados de flotación de Pb y Zn de la Compañía Minera Volcan” menciona lo siguiente: El objetivo del estudio fue evaluar mediante la microscopía óptica, microscopía electrónica y difracción de rayos X, la mineralogía presente en cada concentrado de Pb y Zn, el grado de liberación del mineral valioso en sus respectivos concentrados, y los tipos de intercrecimientos presentes entre los minerales de Pb y Zn, que generaron la baja ley de los concentrados de plomo y zinc de la Compañía Minera Volcan. Los resultados mediante las técnicas empleadas mostraron un fuerte desplazamiento de minerales de calcopirita, pirita, esfalerita y cuarzo, al concentrado de plomo que influyó en su baja ley; de igual manera el concentrado de cobre mostró un fuerte desplazamiento de minerales de pirita y esfalerita que influyó en la ley del concentrado. Los desplazamientos de minerales fueron menores en el concentrado de zinc. Considerando que en los tres concentrados el grado de

liberación de partícula del mineral de interés fue alto, los desplazamientos fueron probablemente a problemas en los circuitos de flotación de estos concentrados.

Mejia, P. (2019) En su investigación titulada: “Microscopia óptica con el criterio grado de liberación como una herramienta importante para la toma de decisiones en procesamiento de minerales, Minera Constancia – Hudbay” menciona lo siguiente: El presente trabajo es desarrollado en la Unidad Minera Constancia – Hudbay. Usualmente, en las plantas de tratamiento de minerales se evalúa la eficiencia del proceso únicamente en base a resultados de análisis químico de los elementos más importantes, sin embargo, la información acerca de la composición química, si bien es indispensable y valiosa, nada puede decir acerca de los actores principales del procesos: las especies minerales; ni la morfología y dimensiones de estas ni mucho menos acerca de la manera como ellas están especialmente asociadas entre sí, tales determinaciones solo puede ser efectuada mediante estudios mineralógicos apropiados, fundamentalmente microscópicos. El denominado Grado de Liberación es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas minerales libres, su determinación solo es posible mediante la utilización de los estudios microscópicos de Luz Reflejada, y dado que es un parámetro de importancia decisiva, tal determinación debe basarse en una metodología técnica y científicamente bien fundamentada. Los datos que se muestran han sido desarrollados en un día en la que los ensayos químicos nos muestran relaves altos. Para ello, se da inicio tomando una muestra en planta y lavando sobre la malla 400 y con el retenido de la malla 400 seco se da inicio a la preparación de briquetas, seguido de un lijado en diferentes números de grano de lijas al agua empezando de la más gruesa 100 hasta la más fina 1200, y finalizar con un pulido

más fino de alúmina sobre un paño y por último limpiar impurezas de la briqueta con alcohol. En el microscopio óptico de Luz Reflejada podemos observar diferentes especies mineralógicas, en la que podemos dar inicio a nuestro conteo de partículas para el cálculo del grado de liberación. En el cuadro resumen se puede observar cómo es que gran cantidad de partículas valiosas se encuentra libres y ocluidas a Mixtos, en la que estas partículas ocluidas pueden ser liberadas si su grado de liberación es mayor al 10 % es factible que siga un proceso de remolienda, si tenemos un grado de liberación de 70% son partículas flotables, solo necesitaríamos evaluar el colector. El reporte final nos da mejores resultados con un grado de concentrado considerable y relaves bajos que nos indican que el uso de microscopia de Luz Reflejada nos permite ver el corazón de la muestra.

#### **Antecedentes a nivel local**

Ricra, L. (2019) En su investigación titulada: “Análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón – Pasco - 2019”. En su resumen menciona lo siguiente: Mediante el presente reporte se refiere al estudio mineragráfico realizado al concentrado de Zinc correspondiente al compósito. En el estudio se observó que el principal mineral de zinc es la esfalerita normal sin inclusiones (ef), seguido de la esfalerita del tipo 5 (con inclusiones de sulfosales de plata en esfalerita normal) (ef5) y finalmente la esfalerita del tipo 2 (con inclusiones de calcopirita en esfalerita normal) (ef2); los valores de zinc representan 69,73 % en peso y de este % de peso se distribuyen: 1. como esfalerita normal el 92,50 %, 2. como esfalerita del tipo 2 el 3,14 % y 3. como esfalerita del tipo 5 el 4,36 %. Los valores de plata indebidamente presentes en el concentrado de zinc son cobre gris (CuGRs) y sulfosales (SFAg) que en total suman 8,64 % en peso. Es importante calcular el

grado de liberación ponderado para las especies que acompañan a la esfalerita en los mixtos más frecuentes. En el ejemplo el resultado es 15,74 (ver tabla 1) =  $(28,99 \times 12,30 + 14,49 \times 16 + 47,83 \times 20,61)$ . El resultado indica que los mixtos del concentrado de zinc necesitan ser liberados por remolienda adicional por tener G.L. mayor a 10. En general la muestra del concentrado de zinc presenta un gran porcentaje de partículas mixtos y asociados, lo que nos indica que hay una importante oportunidad para mejorar las recuperaciones de los elementos valiosos; adicionalmente resaltar la presencia de gangas finas de sulfosales de Ag y esfalerita; en menor proporción, siendo especies complicados de liberar por remolienda y probablemente es un indicador indirecto para mejorar la liberación.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **Mineralogía**

Ramdohr, (2013) En su investigación indica que la mineralogía es la ciencia que estudia las características, propiedades y origen de las rocas y los minerales con la finalidad de realizar su clasificación. Las propiedades varían de acuerdo con su ubicación en el planeta.

El mineral es una sustancia sólida, homogénea y natural, puede ser inorgánica u orgánica de propiedades físicas y químicas definidas. Por tanto, permite su reconocimiento y su diferenciación.

Con frecuencia, los minerales cuentan con una estructura interna ordenada esto debido al ordenamiento sistemático de sus átomos constituidos, porque son cristalino. Algunos minerales sólidos no cuentan con esta propiedad de ordenación y son amorfas (asfaltos, carbones, vidrios volcánicos, ámbar, etc.).

El campo de estudio de los minerales se divide en los siguientes grupos:

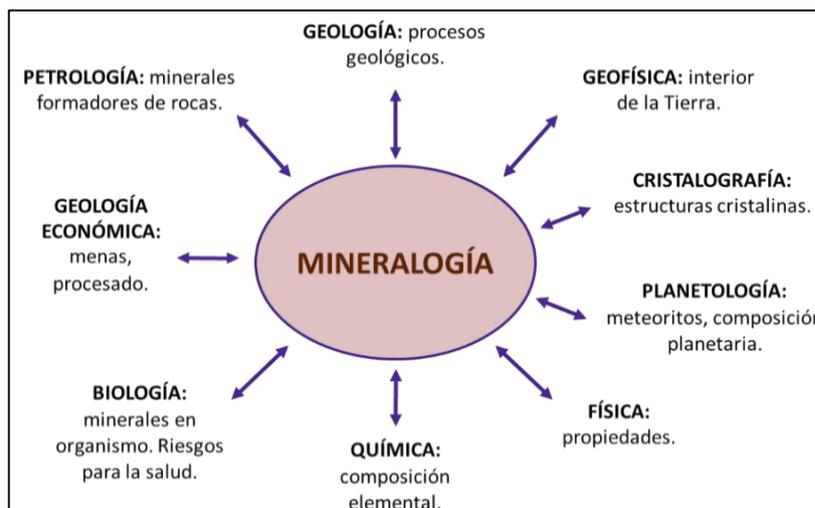
- a. **Mineralogía general**, que estudia la estructura, cristalografía, y las propiedades de los minerales.
- b. **Mineralogía determinativa**, que estudia las propiedades fisicoquímicas y estructurales para la determinación de las especies minerales (mineralogía física, química y óptica).
- c. **Mineralogénesis**, que estudia las condiciones de formación de los minerales, de qué manera se presentan los yacimientos y las técnicas de explotación.
- d. **Mineralogía descriptiva**, que estudia los minerales y los clasifica sistemáticamente según su estructura y composición.
- e. **Mineralogía económica**, que desarrolla las aplicaciones de la materia mineral, su utilidad económica, industrial, Gemología, etc.

**Mineralogía y su relación con otras ciencias**

En la figura N°1 se presenta la mineralogía y como se relaciona con las siguientes ciencias: Geología, geofísica, cristalografía, planetología, física, química, biología, geología económica y petrología.

**Figura N°1.**

*La mineralogía y su relación con otras ciencias*



*Nota.* La figura representa la relación de la mineralogía y su relación en las diferentes ciencias.

### **Aplicaciones de la mineralogía**

Cornelis, (1996) en su investigación indica que la mineralogía es una ciencia con muchas aplicaciones prácticas. Se divide en tres áreas:

- **La mineralogía descriptiva**, se encarga de estudiar las propiedades físicas y químicas de los minerales. Se puede utilizar para la identificación, caracterización y clasificación de nuevos minerales.
- **La mineralogía petrológica**, se encarga de estudiar las rocas para determinar su composición, estructura y propiedades. De este modo puede proporcionar información muy valiosa en la industria minera.
- **La mineralogía económica**, se dedica en el estudio de los minerales con fines comerciales. Esta rama de la mineralogía es fundamental para la industria minera, ya que brinda información muy útil sobre el sitio donde se puede extraer minerales valiosos.

### **Mineralogía aplicada a procesos**

La mineralogía de procesos es utilizada con mayor frecuencia para determinar la metodología del procesamiento del mineral y analizar el tipo de relación que se tiene entre el mineral valioso y la ganga.

Los minerales que componen la ganga son en mineralogía altamente importantes al momento de determinar aspectos críticos como: consumo de energía en los procesos de reducción de tamaño o chancado, a nivel de recuperación del mineral valioso en el proceso de flotación, consumo de reactivos y permeabilidad. Por tal motivo resulta indispensable mostrar interés en la ganga cómo en el mineral valioso, ya que muchos minerales de ganga producen o causan

problemas al momento del procesamiento como es el caso de las arcillas, sulfatos, pirita, carbonatos y otros.

Actualmente la mineralogía debería ser muy aplicada en el Perú, porque través de los conocimientos de esta ciencia se puede optimizar el rendimiento de los diferentes procesos de explotación de una mina. Para este fin es indispensable conocer la mineralogía del depósito mineral o yacimiento, sus leyes, toneladas, extensión y otros factores; así determinar si el proyecto minero resulta rentable o no. Luis, A. (2021).

### **Aplicación de la mineralogía en la explotación del recurso**

La explotación de un depósito mineral o yacimiento se debe ejecutar principalmente con relación a los minerales presentes, actualmente muchas empresas toman en cuenta solo las leyes y tonelajes. La importancia de la mineralogía es que indicará la mejor alternativa para el procesamiento, como los equipos y reactivos que se necesitarán.

El valor de un concentrado varía de acuerdo con los minerales presentes en el depósito mineral o yacimiento, por ejemplo, un mineral de cobre con calcosita presenta hasta 79.8% de cobre y otro de calcopirita tiene solamente 34.6%. La enargita tiene 48.3% de cobre, pero debido a la presencia de arsénico (19.1%) no podría comercializarse directamente (Tabla 1). Luis, A. (2021)

**Tabla 1.**

*Mineralogía de algunas menas de cobre.*

<b>Nombre del mineral</b>	<b>Composición química</b>	<b>Cu %</b>	<b>Otros elementos %</b>
Calcosita	$\text{Cu}_2\text{S}$	79.8	S= 20.2
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	34.6	Fe= 30.4, S= 35.0
Bornita	$\text{Cu}_2\text{FeS}_3$	63.3	Fe= 11.2, S= 25.5
Enargita	$\text{Cu}_2\text{AsFeS}_4$	48.3	As= 19.1, S= 32.6
Malaquita	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	57.4	CuO= 71.9, $\text{CO}_2$ = 19.9, $\text{H}_2\text{O}$ = 8.2
Crisocola	$\text{CuSiO}_3\text{nH}_2\text{O}$	40.4	CuO= 32.4-42.2, $\text{SiO}_2$ = 37.9, $\text{H}_2\text{O}$ = 12.2 - 18.8

Tetraedrita	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	45.77	Sb= 29.2, S= 25.0
-------------	---------------------	-------	-------------------

*Nota:* El cuadro fue elaborado por Enrique, (2015) explicando en porcentajes la composición química de cada mineral.

La importancia de la caracterización de las menas y gangas que serán procesadas en las plantas concentradoras es fundamental para tomar mejores decisiones al momento de procesarlos.

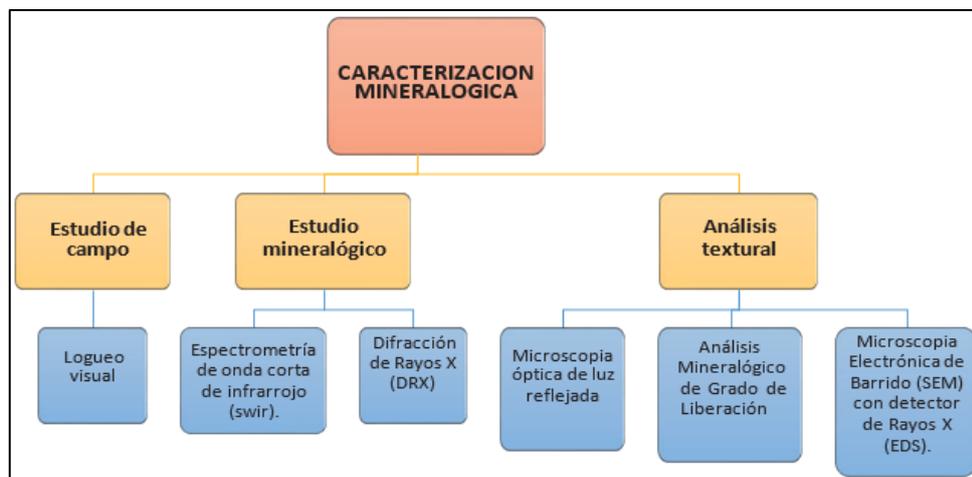
### **Técnicas de caracterización mineralógica**

Los ensayos mineralógicos proporcionan información sobre las especies minerales y sus características. Por tal motivo se facilita interpretar los resultados de las pruebas metalúrgicas y establecer las posibles causas que dificultan el proceso.

Para definir la composición mineralógica de un depósito mineral, se emplean las diferentes técnicas de identificación mineralógica como son: microscopia óptica, microscopia electrónica (microscopio de barrido/microsonda) y difracción de rayos X. Estas técnicas son usadas en forma conjunta debido a que una sola técnica no suministra toda la información necesaria. (Figura N°2).

**Figura N°2.**

*Técnica de caracterización mineralógica.*



*Nota:* El diagrama fue elaborado por Irving Cristian Segura explicando la caracterización mineralógica.

### **Caracterización mineralógica por Difracción de Rayos X**

La difracción de rayos X permite la identificación de materiales particulados, arcillas y otros minerales de forma rápida. Esta técnica proporciona información muy detallada acerca de la estructura cristalográfica de cada muestra, que puede ser usado para identificar las fases presentes.

La difracción de rayos X es especialmente importante para identificación de fases de grano fino que son muy difíciles de identificar por otros métodos como la microscopía óptica, el microscopio electrónico de barrido/espectrómetro por dispersión de energía (SEM/EDS) o la evaluación cuantitativa de materiales por microscopía electrónica de barrido (QEMSCAN).

Desde hace varios años atrás ya se usa la difracción de rayos X para determinar conjuntos de minerales en masa en rocas, arcillas, menas, macropartículas y productos metalúrgicos. Debido a que proporciona un método

semicuantitativo para determinar los porcentajes normativos o de peso de las fases presentes, incluyendo la fracción de cada fase mineral contenida en sus muestras.

Actualmente, gracias al uso de los métodos de cuantificación Rietveld (análisis RIR) y de potentes computadores, pueden obtenerse datos cuantitativos a través de la difracción de rayos X. Los modernos detectores de alta velocidad permiten la rápida recopilación de datos en grandes números de muestras y se utiliza el análisis tipológico de las pautas integrales para diferenciar las poblaciones de muestras.

En el análisis DRX estándar, la preparación de las muestras es una operación de rutina, y los datos se adquieren de manera eficiente y precisa. El análisis DRX se lleva a cabo en una muestra pulverizada, y es una manera fácil de obtener datos mineralógicos para análisis químicos.

#### **Análisis DRX cualitativo**

Todas las fases identificadas por los análisis DRX se reportan y se agrupan en cantidades grandes (>30%), moderadas (10-30%), pequeñas (2-10%) y mínimas (<2%). La identificación y la clasificación de las concentraciones se basan en las alturas máximas relativas y en la estructura cristalina del mineral.

#### **Análisis DRX semicuantitativo**

Todos los minerales identificados por análisis de difracción de rayos X se reportan y se agrupan en cantidades grandes (>30%), moderadas (10-30%), pequeñas (2-10%) y mínimas (<2%). Además, las concentraciones de minerales (en % de peso) generadas por los análisis DRX RIR (o Rietveld) se combinan con un análisis integral de la roca y se presentan en informes.

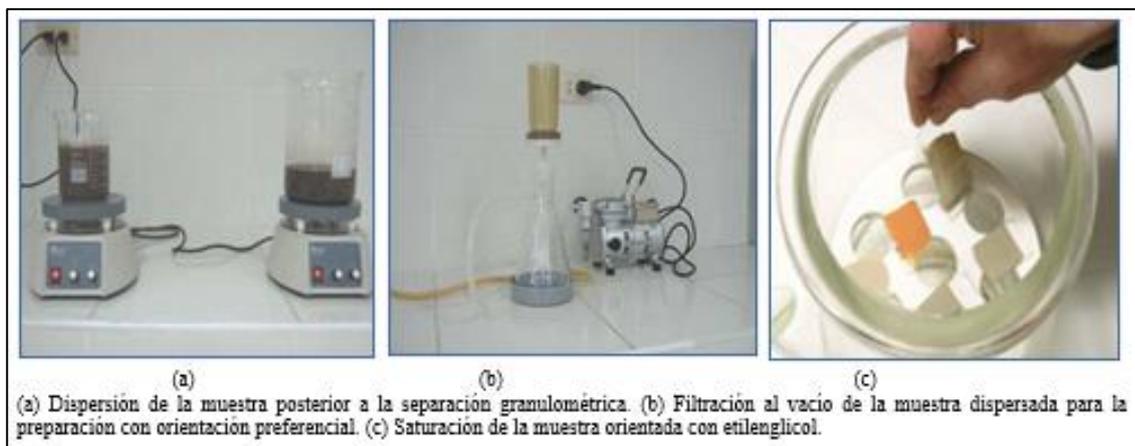
Además, es factible aplicar esta técnica para la caracterización de minerales arcillosos (como las esmectitas) y laminares (como micas, cloritas, etc.)

desarrollando un procedimiento definido en las etapas de separación granulométrica, orientación preferencial, saturación con vapores de etilenglicol y/o tratamiento térmico; con el fin de evaluar los cambios estructurales que son característicos para ciertas arcillas.

- **Separación granulométrica.** La muestra es suspendida en agua destilada y posteriormente se extrae el sobrante (solución conteniendo las partículas pequeñas con un tamaño aproximado a 2 micras) a una altura determinada de la probeta y en un tiempo definido según la Ley de Stokes.
- **Preparación de la muestra con orientación preferencial.** La suspensión extraída es filtrada en un equipo de filtración al vacío para conseguir que los granos se ubiquen de una forma ordenada y orientada.
- **Saturación de la muestra orientada con etilenglicol y/o tratamiento térmico.** La muestra orientada es saturada con vapor de etilenglicol durante varias horas, para producir un desplazamiento del pico principal de los minerales arcillosos (esmectitas). Si la muestra lo requiere se realiza un tratamiento térmico en una mufla a temperatura controlada, de esta manera inducimos cambios estructurales que son característicos a ciertos minerales de arcillas.

### Figura N°3.

*Proceso de análisis mineralógico de minerales arcillosos.*



*Nota:* Las figuras fueron tomadas durante el trabajo de investigación evidenciando el proceso de análisis mineralógico de minerales arcillosos en el laboratorio metalúrgico SMEB.

Finalmente, otra de las aplicaciones es la investigación de las materias primas, evaluando los cambios estructurales de las fases cristalinas, bajo diferentes condiciones de temperatura, presión, molienda, entre otros.

Esta técnica de DRX puede ser reconocida como convencional pero su aplicación es fundamental para la caracterización mineralógica de un yacimiento; así como para definir los distintos minerales que predominan dentro de un proceso metalúrgico.

#### **Caracterización Mineralógica por Microscopía óptica de luz reflejada**

Janet, (2015) En su investigación indica que la microscopia de luz reflejada constituye una herramienta muy valiosa en el estudio de las características mineralógicas de las menas. Su desarrollo ha marchado paralelo a una necesidad cada vez mayor de encontrar una interpretación genética adecuada de los yacimientos a razones de tipo tecnológico (como información para llevar a

cabo los procesos de beneficio) y a la necesidad de un mejor control de las materias primas en general. Se aplica el método microscopía de luz reflejada a razón de que los minerales de interés o de mena caen dentro del grupo de minerales opacos, definidos como aquellos minerales que en sección de 30 micras de espesor no dejan pasar un haz de luz, presentan alta absorción y reflectancia.

El microscopio óptico de luz reflejada es una herramienta fundamental para determinar e identificar las distintas clases de minerales, como sulfuros, silicatos, óxidos y otros presentes en una muestra delgada y pulida.

Existen dos tipos de preparaciones para muestras geológicas y metalúrgicas:

- a. Lámina delgada y pulida de 30  $\mu\text{m}$  que sirve para estudios petrominerográficos y análisis de grado de liberación.
- b. briqueta pulida que sirve para estudios minerográficos, microscopía electrónica y análisis de grado de liberación.

### **Caracterización Mineralógica por Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)**

El microscopio electrónico de barrido (MEB), maneja electrones en lugar de luz para establecer una imagen. Para conseguir, el equipo cuenta con un dispositivo conocido como filamento, que forma un haz de electrones para iluminar la muestra y a través de otros detectores se acumulan después los electrones formados de la interacción con la superficie de ésta, de este modo se crea una imagen que ilumina las características superficiales de la misma. Finalmente se proporciona la información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes.

Al reflejar el haz de electrones sobre la muestra, interactúa con ésta y generan distintos efectos que serán captados y visualizados en función del equipo que utilicemos.

**a) Funcionamiento MEB**

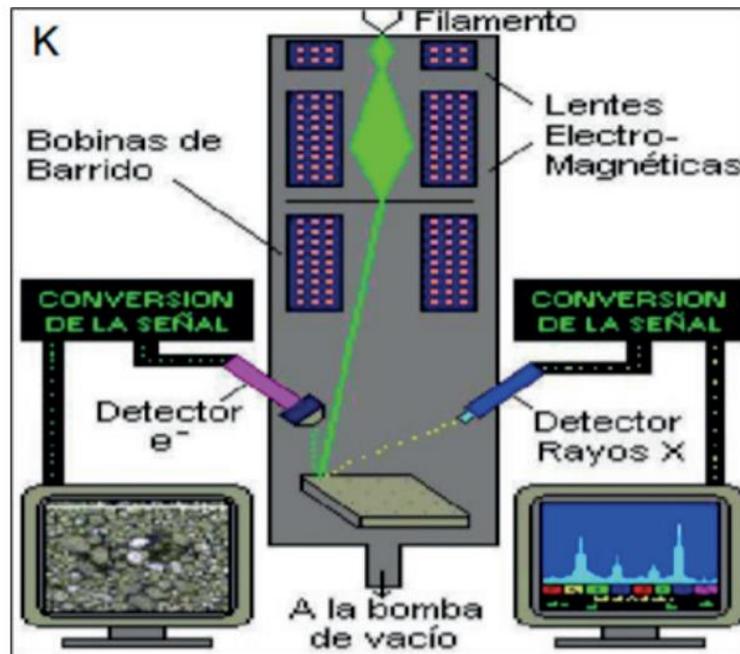
Los electrones acelerados en un equipo MEB tienen una energía cinética significativamente incrementada. Cuantos electrones inciden en la muestra sólida producen una variación en la energía, la disipación de esta energía producirá una variedad de señales (Imagen N° 4).

Estas señales incluyen:

- Electrones secundarios (cuales producen las imágenes SEM).
- Electrones retrodispersados (BSE).
- Electrones retrodispersados difractados (EBSD), usados para determinar las estructuras cristalinas y orientaciones de minerales.
- Fotones, con rayos X característicos que serán usados para el análisis elemental.
- Luz visible (para la catodoluminiscencia - CL).
- Calor.

**Figura N°4.**

*Microscopio electrónico.*



*Nota:* Imagen tomada de Wikipedia, explicando los componentes de un microscopio electrónico.

**b) Condición de muestras aptas para MEB**

Generalmente para análisis de muestras relacionados a procesos metalúrgicos se utilizan secciones pulidas. La sección pulida es apta para colocarse en la cámara del microscopio electrónico sin preparación previa si presenta un considerable contenido metálico en su superficie. En ese caso, sólo es necesario colocar cintas de cobre para facilitar detección y visualización en el monitor.

**c) Condición de muestras para grafitador:**

La grafitación o carbonización de muestras es un método aplicado a la preparación de muestras o especímenes que no presentan propiedades conductoras, de manera que mediante dicha técnica es posible dejar la muestra apta para que se pueda procesar en el microscopio electrónico.

Se puede utilizar de dos formas:

- Utilizando filamentos de fibra de carbón.
- Utilizando una barra de carbón

### **Grado de Liberación**

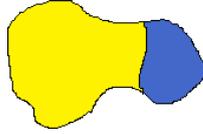
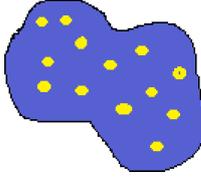
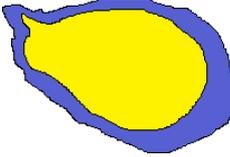
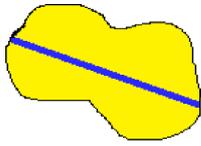
Arreola, (2012) En su investigación indica que el grado de liberación es una información cuantitativa que mide los tamaños de los granos minerales libres y su abundancia relativa de los minerales presentes en la sección de estudio (para muestras de roca). Paralelamente, se detalla la información proveniente de muestras de procesos metalúrgicos que aparte de tamaños y abundancia, también se obtiene información sobre el conteo de las partículas (libres como intercrecidos), porcentaje (%) de granos libres e intercrecidos y grado de liberación de las diferentes especies minerales.

Para realizar el cálculo del grado de liberación se utiliza dos componentes para la calificación de partículas minerales intercrecidas (Tabla 2).

- a. El área relativa** de cada especie mineral con respecto a un grano mixto (representado en porcentaje en volumen y luego en porcentaje en peso).
- b. La superficie relativa** expuesta (dicha zona representa el lugar donde ocurrirá la respuesta metalúrgica). Al multiplicar ambos factores se obtiene el grado de liberación para cada mineral en el grano mixto. BIZALAB Laboratorio (2020).

**Tabla 2.**

*Arreglos texturales y liberación de partículas.*

ARREGLOS TEXTURALES Y LIBERACIÓN DE PARTÍCULAS		
DESCRIPCIÓN	DIAGRAMA	LIBERACIÓN
Ocluido/Incluido		Cuando un mineral aparece contenido en otro. A diferencia del tipo diseminado, se observan pocas partículas en el interior del mineral de mayor área.
Asociación lateral		Asociación en donde los minerales aparecen de forma adyacente. Desde un punto de vista metalúrgico, su liberación por vía conminución de ambos minerales es mucho más factible.
Diseminado		Cuando un mineral aparece en forma de varias y pequeñas inclusiones dentro de otro de mayor fase. La liberación de estas partículas es mucho más compleja, lo cual hace de su recuperación prácticamente inviable por procesos de molienda y flotación.
Corona		Es una asociación en donde un mineral recubre de manera total a parcial la fase que se encuentra en su interior. La recuperación está supeditada a la naturaleza fisicoquímica del mineral que realiza el “coating” ya que puede pasivar o activar dicho intercrecimiento
Vetilla		Asociación en donde un mineral aparece “cortado” por una o varias venillas de otro mineral (posterior). La liberación del mineral interior es difícil.

*Nota:* La tabla se tomó del informe presentado por el laboratorio BIZALab, explicando los arreglos texturales y liberación de partículas.

La expresión matemática del grado de liberación para una especie mineral por intercrecimientos puede representarse de la siguiente manera:

$$GL = \sum_{i=0}^n \frac{(A_i)_{mx}(P_i)_{mx}}{(A_{total})_{mx}}$$

Donde:

GL = Grado de liberación por intercrecimiento.

n = N° de partículas.

$(A_i)_{mx}$  = Área del mineral “mx” en un intercrecimiento.

$(P_i)_{mx}$  = Perímetro liberado expuesto del mineral “mx” en un intercrecimiento.

$(A_{total})_{mx}$  = Área relativa total del mineral “mx” en todos los intercrecimientos.

### **Caracterización Mineralógica en el proceso de flotación**

#### Identificación mineral y análisis modal

Arreola, (2012) En su investigación indica que la caracterización mineral debe iniciar con la identificación y determinación de las especies minerales presentes en la muestra en estudio, porque es fundamental para establecer el proceso de tratamiento y concentración mineral.

En primer lugar, la identificación cualitativa de los minerales permite establecer cuáles son los minerales que más aportan los metales valiosos en los minerales de mena. En segundo lugar, es importante identificar cuáles son los minerales de ganga, por 2 motivos: posible potencial económico y/o por la posible influencia en el procesamiento. Ejemplo: el caso de la presencia de cuarzo asociado con galena, que necesitaría una sobremolienda causada por la diferencia en la dureza entre los minerales de mena y ganga.

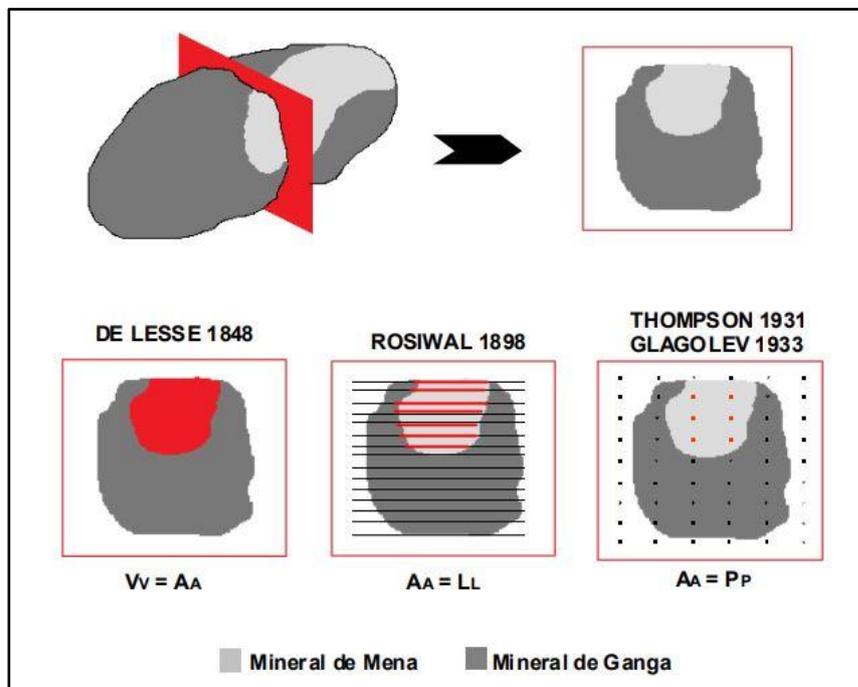
El análisis cualitativo también debe advertir la presencia de los minerales que signifiquen perjudiciales en los procesos de concentración de minerales. Por

ejemplo, la presencia de sulfuros de cobre (calcosina) en menas de oro tratadas mediante cianuración es perjudicial, ya que este mineral reacciona con la solución cianurada produciendo un consumo excesivo del reactivo y la contaminación del concentrado.

Culminando con la identificación de las especies minerales es necesario llevar a cabo el estudio de cuantificación o análisis modal que determina los datos porcentuales de la abundancia relativa de cada uno de los minerales presentes.

**Figura N°5.**

*Método de cuantificación a través del tiempo.*



*Nota:* Imagen tomada de la investigación de nombre Innovación en las técnicas de microscopia por Pérez-Barnuevo.

**Análisis del Grado de Liberación**

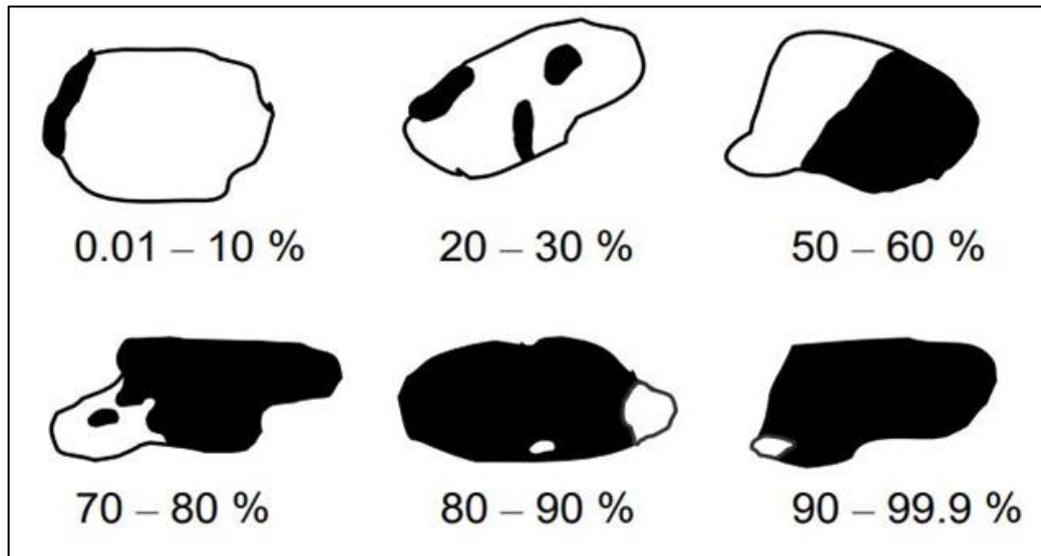
Arreola, (2012) En su investigación indica que las partículas minerales pueden estar formadas por un solo mineral, en tal caso son consideradas partículas

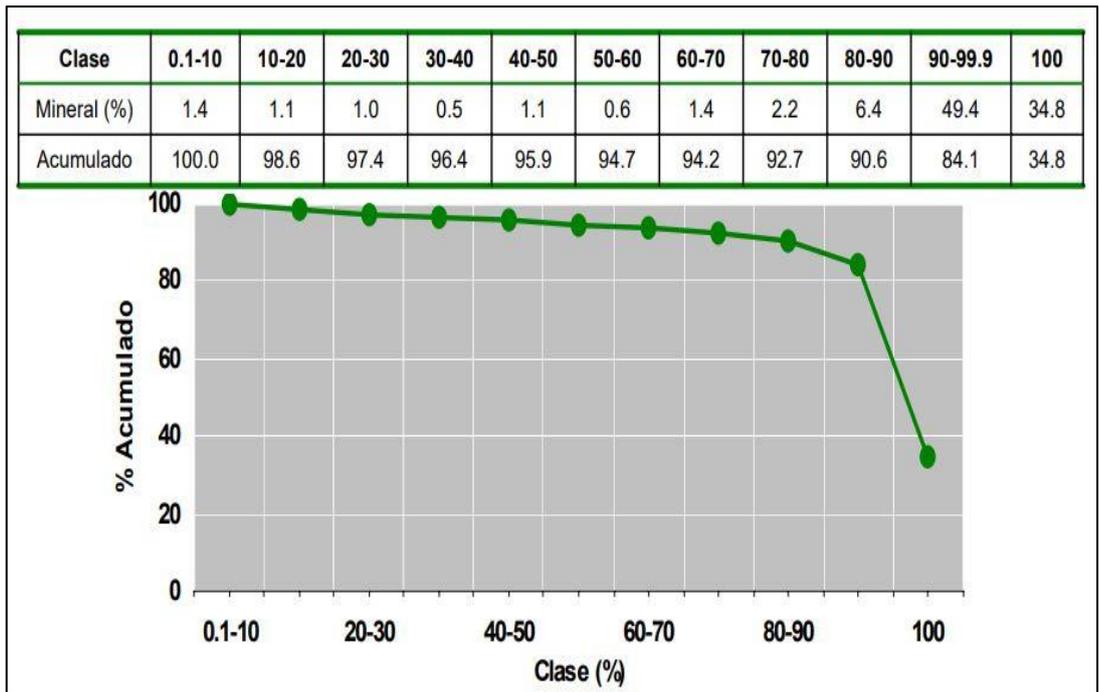
libres, así también pueden estar formadas por dos o más minerales, en este caso se denominan partículas mixtas.

El análisis minucioso del grado de liberación de un mineral determinado se expresa de acuerdo con la distribución de este mineral en las partículas mixtas. Para tal fin se establecen clases de partículas según la cantidad porcentual de dicho mineral que contienen (Figura 6), desde partículas que contienen un 0.01 % hasta las que están formadas en su totalidad por este mineral 100 % (supuestamente liberadas) con el incremento del 10 % en cada clase. Maldonado, (2020)

**Figura N°6.**

*Clasificación de las partículas mixtas según su contenido de mineral en estudio.*



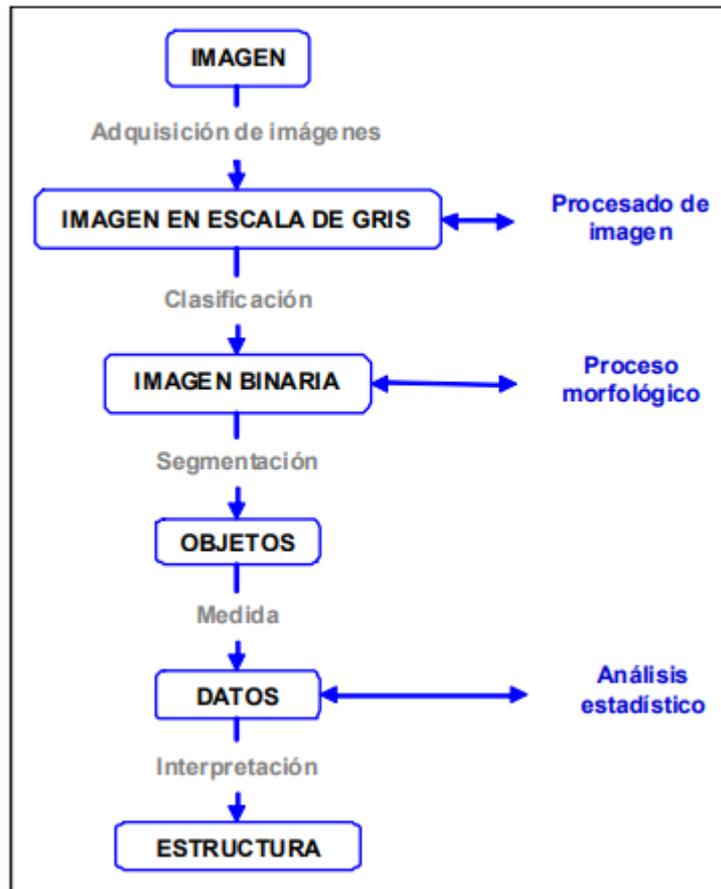


*Nota:* Imagen tomada de la investigas de nombre Innovación en las técnicas de microscopia por Pérez-Barnuevo.

Mediante la observación de las briquetas pulidas por microscopio óptico puede ser necesario para determinar si la mayoría de las partículas se hallan libres o no, pero si se necesita realizar una interpretación más detallada del grado de liberación es indispensable acudir al análisis de imagen.

**Figura N°7.**

*Análisis de imágenes.*



*Nota:* Elaborado por Russ (1990).

### **Tamaño de grano**

Arreola, (2012) Indica que esta característica es indispensable cuando se muestra una cantidad de partículas mixtas de forma elevada, debido a que en tal caso es necesario conocer las causas por las cuáles el mineral de mena no está libre. En este punto entran en relación algunos aspectos texturales como el tamaño de grano, la naturaleza de los bordes de intercrecimiento y el tipo de intercrecimiento entre los minerales adyacentes que forman parte de las partículas mixtas.

En conclusión, el estudio de estas características texturales es fundamental al momento de establecer la posibilidad de liberación de un determinado mineral y la determinación del éxito o el fracaso de su concentración.

### **Textura mineral**

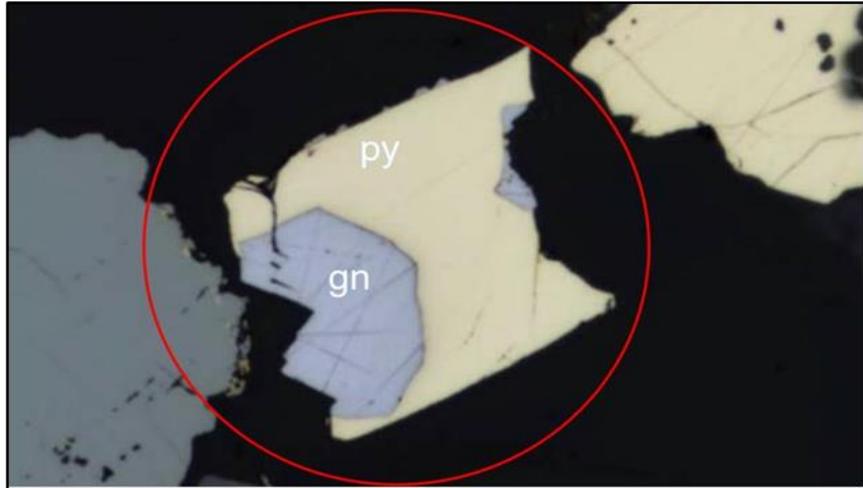
Maldonado, (2020) La caracterización granulométrica de las partículas minerales es indispensable para determinar si los minerales se encuentran dentro del rango del tamaño solicitado por el propio proceso de tratamiento del mineral. Esto sirve para establecer el grado de liberación mineral y predecir el grado de molienda necesario para conseguir la liberación de un determinado mineral. Se trata, por lo tanto, de un parámetro que debe ser expresado en términos cuantitativos y no puramente descriptivos.

### **Tipo de borde de unión entre minerales adyacentes**

Gaudin, (1939) En su investigación indica que es un parámetro difícil de cuantificar y como norma general se tiene que, si dos granos minerales están unidos por bordes de unión simples y suavizados, podrán ser liberados fácilmente durante el proceso de trituración y molienda. Caso contrario, en los casos en que los minerales se encuentren finamente intercrecidos será muy difícil obtener la liberación completa, a no ser que se lleve a cabo una molienda excesivamente fina.

### **Figura N°8.**

*Ejemplo de unión entre minerales.*



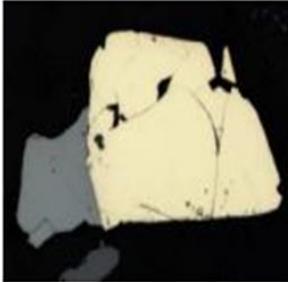
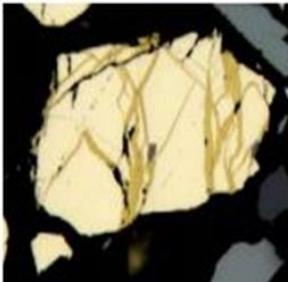
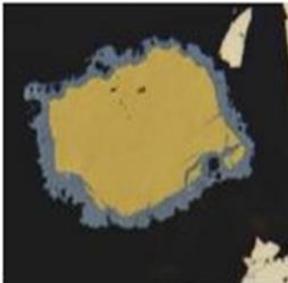
*Nota:* Influencia en los procesos de concentración según Gaudin (1939).

#### **Tipo de intercrecimiento mineral**

Gaudin, (1939) En su investigación indica que el tipo de intercrecimiento que se presenta entre los minerales que forman una partícula mixta tiene alta importancia al momento de determinar tanto la posibilidad de liberación, como la posibilidad de concentración de las fases minerales que lo constituyen. Precisamente bajo ese enfoque Gaudin (1939) realiza una clasificación simplificada de las partículas mixtas binarias en función del tipo de intercrecimiento mineral y de su comportamiento en los procesos de concentración. (Figura 9)

**Figura N°9.**

Tipos de intercrecimiento mineral.

TIPO DE INTERCRECIMIENTO	COMPORTAMIENTO ESPERADO
	<p><b>TIPO I.</b> Intercrecimiento simple. Los minerales adyacentes se encuentran unidos mediante bordes rectilíneos o suavemente curvados.</p> <p>La composición superficial de estas partículas es proporcional a su composición volumétrica, de manera que durante la flotación se comportan de acuerdo con dicha composición. Fácil liberación.</p>
	<p><b>TIPO II.</b> Intercrecimiento vetilla o sándwich. Una de las fases minerales se encuentra incluida en la otra en forma de vetilla.</p> <p>La respuesta a la flotación está directamente relacionada con la abundancia relativa de cada una de las fases, mientras que la liberación es posible pero más difícil que en las partículas del tipo I.</p>
	<p><b>TIPO III.</b> Intercrecimiento corona o recubrimiento. Una de las fases se encuentra cubriendo, si no totalmente, al menos parcialmente a la otra fase.</p> <p>No responde a la flotación tal y como cabría esperar por la abundancia relativa de las fases, sino que se comporta según las propiedades del mineral de recubrimiento. Liberación completa imposible por medios físicos.</p>
	<p><b>TIPO IV.</b> Intercrecimiento emulsión o diseminado. Una de las fases se encuentra en forma de minúsculas inclusiones en la otra fase.</p> <p>Responde a la flotación tal y como cabría esperar para la fase más abundante. Liberación imposible.</p>

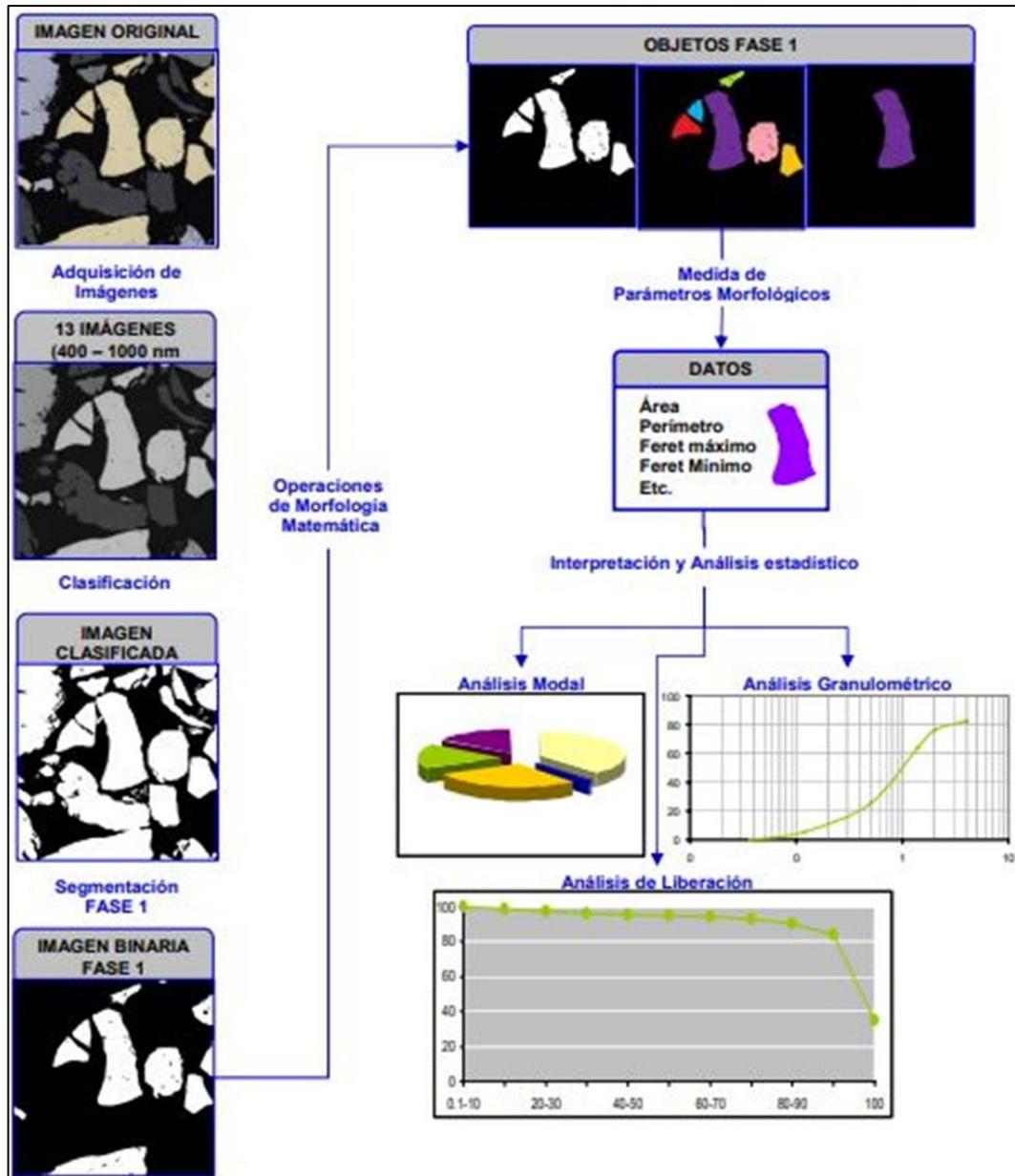
*Nota:* Influencia en los procesos de concentración según Gaudin (1939).

### **Caracterización mineralógica mediante análisis digital de imagen**

Este proceso inicia con el suministro de imágenes de la superficie de la briqueta pulida a analizar. Este proceso es totalmente automático, el usuario solamente debe seleccionar el área de la preparación sobre la que se efectuará el barrido, indicando el número de imágenes que quiere adquirir.

**Figura N°10.**

*Caracterización mineralógica mediante análisis digital de imagen.*



*Nota:* Influencia en los procesos de concentración según Gaudin (1939).

### 2.3. Definición de términos básicos

#### **Agregado**

Conjunto de individuos unidos, de un mismo o diferentes minerales.

#### **Concentrado**

Un producto intermedio fino y polvoriento del proceso de molienda formado por la separación de un metal valioso del desperdicio.

### **Concentradora**

Las instalaciones en las que se procesa el mineral para separar los minerales de la roca madre.

### **Depósito mineral**

Concentración natural de material valioso que puede ser extraído y vendido con una ganancia.

### **Flotación**

Proceso para concentrar materiales en base a la adhesión selectiva de ciertos minerales a las burbujas de aire en una mezcla de agua con mineral molido. Cuando se agregan los químicos correctos al baño de agua espumosa de mineral que ha sido molido a un polvo fino, los minerales flotan a la superficie.

### **Ganga**

Minerales sin mayor valor económico que acompañan a la mena.

### **Individuo**

Término referido a un solo cristal. El individuo se reconoce por la orientación de su estructura cristalina y especialmente por sus características físicas y químicas.

### **Mena**

Mineral del cual se puede extraer en forma rentable un elemento de interés económico.

### **Mineral**

Es un cuerpo homogéneo inorgánico de origen natural que se encuentra formando la corteza terrestre como fruto de combinaciones químicas; o también

puede definirse al mineral como un elemento químico, como es el caso de los elementos nativos. La mayoría de los minerales tienen formas definidas llamadas cristales.

### **Mineralogía**

Ciencia que se ocupa de la descripción y el análisis de los minerales, sus propiedades físicas y químicas, su forma, su composición, origen, clasificación e identificación de los yacimientos en donde se encuentran depositados en forma natural.

### **Muestra**

Una pequeña porción de roca o de un depósito mineral que se toma para poder determinar por ensayo el contenido de metales.

### **Muestreo**

La selección de una parte fraccional pero representativa de un depósito mineral para el análisis.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

- **Hipótesis Alternativa (H1):** Si los resultados de análisis mineralógico realizados a los concentrados de Pb y Zn de Sociedad Minera El Brocal S. A. A. demuestran la influencia de los diferentes mecanismos se podrá optimizar la recuperación de Pb-Zn.
- **Hipótesis Nula (H0):** Si los resultados de análisis mineralógico realizados a los concentrados de Pb y Zn de Sociedad Minera El Brocal S. A. A. no demuestran la influencia de los diferentes mecanismos no se podrá optimizar la recuperación de Pb-Zn.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

### **Hipótesis Específicas Alternativas (H1)**

- a. Si identificamos las características mineralógicas de los concentrados de Pb y Zn entonces podemos demostrar la influencia de estos datos para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.
- b. Si determinamos el grado de liberación de los minerales en los concentrados de Pb y Zn entonces podemos demostrar la influencia de esta información para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.

### **Hipótesis Específicas Nulas (H0)**

- a. Si identificamos las características mineralógicas de los concentrados de Pb y Zn entonces no podemos demostrar la influencia de estos datos para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.
- b. Si determinamos el grado de liberación de los minerales en los concentrados de Pb y Zn entonces no podemos demostrar la influencia de esta información para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.

## **2.5. Identificación de las variables**

### **Variable independiente**

Análisis mineralógico a los concentrados de Pb – Zn.

### **Variable dependiente**

Influencia en la recuperación.

### **Variable interviniente**

- Muestras de concentrados

## **2.6. Definición operacional de variables e indicadores**

**Tabla 3.***Matriz de consistencia.*

VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Variable Independiente</b>	<b>Caracterizar la mineralogía presente en los concentrados de Pb y Zn.</b>	Porcentaje de composición mineralógica.	Espectrofotometría de absorción atómica
	Ensayo por difracción de rayos X.	Porcentaje de composición química.	Microscopio óptico electrónico.
Análisis mineralógico a los concentrados de Pb – Zn.	Ensayo por microscopia electrónica de barrido.	Porcentaje de liberación y asociaciones.	Muestras en Briquetas.
	Ensayo por microscopia óptica.		Datos de laboratorio químico – metalúrgico.
			Cuaderno de apuntes.
<b>Variable Dependiente</b>	<b>Determinar el grado de liberación del mineral valioso en las diferentes mallas de los concentrados de Pb y Zn</b>	Porcentaje de datos e interpretación	Análisis estadístico
Influencia en la recuperación.	Incremento de Pb y Zn en los concentrados de flotación.		

**Variables****Variable independiente:**

Análisis mineralógico a los concentrados de Pb – Zn.

Consiste en tomar muestras de concentrados de mineral, mediante briquetas, las cuales pasan al laboratorio metalúrgico.

**Variable Dependiente:**

Influencia en la recuperación

Se tiene recuperaciones con tendencia hacia la pérdida de metales de Pb y Zn, dentro del proceso metalúrgico, por lo que encontrar una influencia con resultados positivos o negativos en la recuperación.

Ensayos por refracción de rayos X.

### **Dimensiones**

#### **Caracterizar la mineralogía presente en los concentrados de Pb y Zn:**

En esta parte se utiliza técnicas como difracción de rayos X y se complementa con microscopía óptica y electrónica de barrido donde se obtiene datos de mineralogía necesarios la cual posteriormente se evalúa para el aprovechamiento de la materia prima (mineral).

#### **Determinar el grado de libertad del mineral valioso en las diferentes mallas de los concentrados de Pb – Zn:**

En esta parte determinamos la cantidad de la partícula de mineral aprovechable libre de material estéril a una determinada reducción en los concentrados.

### **Indicadores**

#### **Porcentaje de composición mineralógica:**

En esta parte determinamos el porcentaje de metales (Pb-Zn) en un compuesto de concentrado previo análisis.

#### **Porcentaje de composición química:**

En esta parte medimos la cantidad de mineral (Pb-Zn) en el compuesto concentrado y lo representamos en porcentaje.

#### **Porcentaje de liberación y asociaciones:**

Una vez teniendo la muestra en esta parte se hace el conteo de partículas liberadas de mineral de Pb, Zn y asociaciones, lo representamos en porcentajes.

**Porcentaje de datos e interpretación:**

Los resultados cuantitativos obtenidos lo expresamos en porcentajes y procedemos a interpretar la factibilidad de los datos.

**Técnicas e instrumentos****Espectrofotometría de absorción atómica:**

Equipo utilizado para determinar las concentraciones totales de nuestras muestras.

**Microscopio óptico electrónico:**

Equipo utilizado para hacer el estudio cuantitativo de partículas (Pb-Zn) en nuestras muestras.

**Muestras en Briquetas:**

Realizados a partir de las muestras de concentrado con resina y pulidas para poder visualizar las partículas de mineral (Pb-Zn).

**Datos de laboratorio químico – metalúrgico:**

Son aquellos datos recopilados por los reportes del laboratorio químico – metalúrgico.

**Cuaderno de apuntes:**

Utilizado para redactar aquellos resultados obtenidos durante el proceso del estudio.

**Análisis estadístico:**

Hacemos el análisis estadístico apoyándonos de herramientas de ofimática como hojas de cálculo Excel para procesar los datos estadísticos.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación es de carácter **cuasi experimental**, porque permite responder a los problemas planteados, de acuerdo con la interpretación de los resultados de la caracterización mineralógica y el grado de liberación para determinar la influencia de los estudios mineralógicos en la recuperación de Pb y Zn de los concentrados de flotación de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. de acuerdo al enfoque descriptivo.

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo pues pretende aclarar a las dos variables de la investigación.

#### **3.3. Métodos de investigación**

Los métodos de investigación utilizados fueron el **Analítico – sintético** para determinar los analitos y sintetizar los resultados obtenidos, como también el **Inductivo - deductivo**, porque permite llegar a conclusiones partiendo de lo particular a lo general. Por lo tanto, para esta investigación nos valemos de los

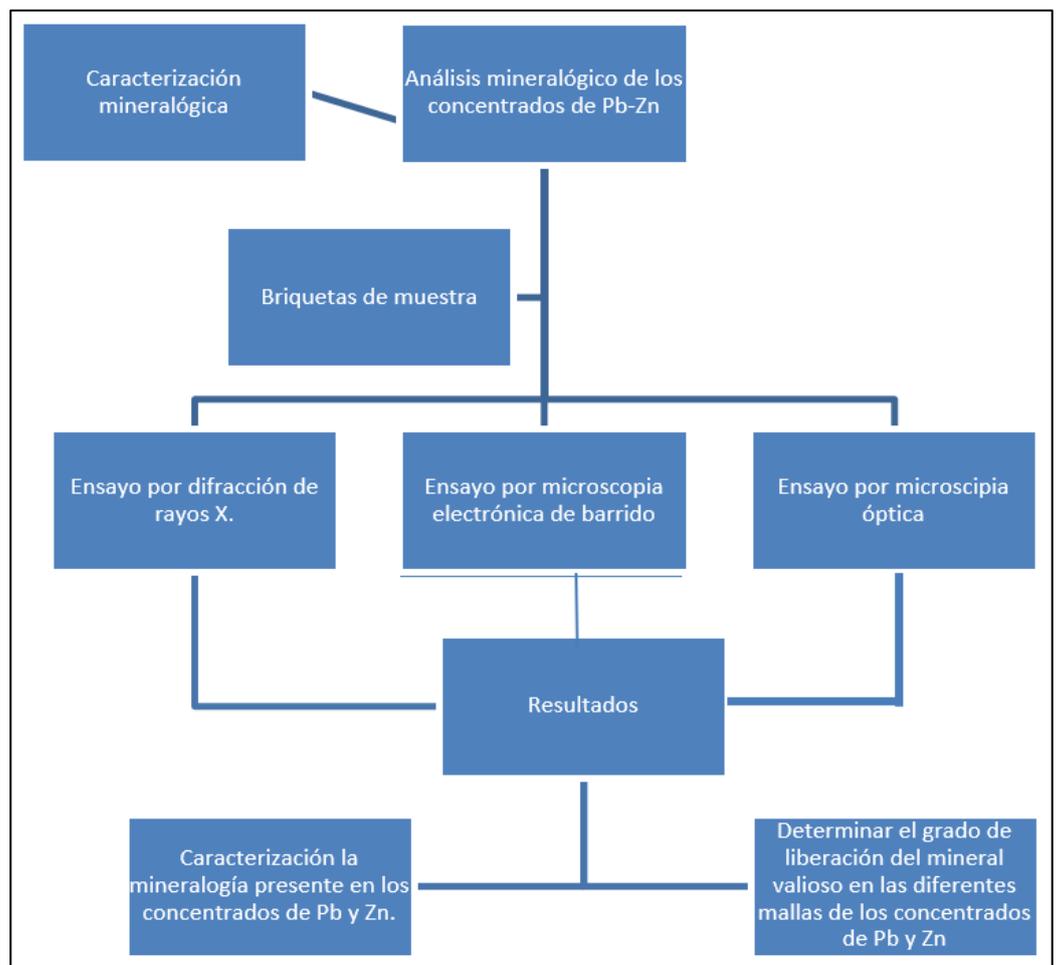
estudios mineralógicos mediante microscopía óptica de luz reflejada, microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X para determinar la influencia en la recuperación de plomo y zinc en los concentrados de flotación de Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

### 3.4. Diseño de investigación

De acuerdo a la investigación se ha utilizado el diseño descriptivo simple. Pues buscamos la influencia de la caracterización y análisis mineralógico para obtener un resultado de grado de liberación del mineral a tratar.

**Figura N°11.**

*Esquema del proceso del estudio.*



*Nota:* El diagrama fue de elaboración propia.

### 3.5. Población y muestra

## **Población**

Tamayo, (1997) Indica que la población se define como un conjunto de materiales, objetos, etc. que concuerdan con una serie determinada de singularidades a estudiar donde las unidades de la población poseen características comunes la cual se estudia y da inicio a la investigación.

La población para la investigación está representada por todo el mineral de Esfalerita y Galena procesado por flotación en la planta concentradora N°2 en Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

## **Muestra**

La muestra de estudio es proporcionada por la SMEB, tomadas el 09 de octubre del 2020 en las instalaciones de la Planta Concentradora 2 Pb-Zn A de los concentrados de flotación de Pb y Zn. Para los ensayos en microscopía óptica con luz refleja, microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X; la muestra se recibió en material fino granulado, encontrándose secas y en cantidades apropiadas para el análisis a realizar (1Kg) de concentrado de Pb y Zinc de patio concentrado SMEB.

## Figura N°12.

Toma de muestras de concentrados Pb y Zn.

				<b>RESULTADOS DE ENSAYE</b>													Fecha: 18/10/2020 Hora: 09:17:49 AM Pág. 1 de 1		
				<b>Numero Solicitud:</b> MP00050209				<b>Estado:</b> COMPLETAMENTE ANALIZADO											
				<b>Area:</b> Superintendencia Procesos Metalúrgicos				<b>Fecha Solicitud:</b> 09/10/2020 00:00:00											
				<b>Procedencia:</b> PRODUCCION CONCENTRADO				<b>Turno:</b> Guardia A 11:00 pm a 07:00 am											
				<b>Toma Muestra:</b> PLANTA 02, Pb-Zn A				<b>Fecha Ensaye:</b> 09/10/2020 12:03:53											
				<b>Observación:</b>															
Itm.	Cod. Lab	Muestra	Descripción	Hum (%)	Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	Bi %	As %	Ins %	PbO %	ZnO %	C %	S %			
4	080101	2Cabeza.A.		8.30	1.48	1.00	2.62	0.10	20.18	0.006	0.016		0.18	0.15					
8	080102	2Conc.Pb.A.		.00	32.19	26.99	15.67	3.42	13.23	0.072	0.594	6.44							
16	080103	2Conc.Zn.A.		.00	9.58	4.74	43.50	0.54	8.23			6.19							
21	080105	2Relave.A.		.00	0.54	0.24	0.87	0.03	19.77				0.11	0.10					
99	EB11000428	Filtro.Pb		15.14															
	EB11000429	Filtro.Zn		10.82															

*Nota:* Imagen tomada de SMEB

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente trabajo se utilizó la técnica de la observación directa y para la recolección de datos fue tomado por los trabajadores mediante el instrumento del check list de reportes de del laboratorio metalúrgico, químico y cuaderno de apuntes.

#### Recopilación de información

De acuerdo a la presente investigación, se recolectará la información de normativas, estudios anteriores, investigaciones, experiencias y datos relacionados al tema.

#### Materiales, reactivos y equipos

Para el análisis mineralógico de los concentrados de Pb y Zn, se utilizará las muestras de los concentrados suministrados por Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

##### a. Material

- Lijas de diferentes números
- Paños de pulido
- Guantes de látex

**b. Reactivos**

- Agua destilada
- Acetona
- Alúmina de 0.03 y 0.05  $\mu\text{m}$
- Alcohol
- Resina epoxica
- Acelerador de Cobalto
- Monoestireno

**c. Equipos**

- Microscopio óptico de luz reflejada
- Microscopio electrónico de barrido
- Difractómetro de rayos X

**3.7. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación**

Los ensayos mineralógicos se realizaron en los laboratorios de la SMEB y BIZALAB, siendo empresas de entera confiabilidad y con gran experiencia, asimismo las muestras fueron trabajadas con el máximo cuidado, para obtener la validación de los datos y cálculos de la presente investigación.

**3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

**Preparación de briquetas**

**a. Preparación de Resina:**

Mezclar de forma homogénea la resina epóxica, cobalto y monoestireno.

**b. Preparación del Mineral:**

Los concentrados serán etiquetados, de acuerdo al tipo de concentrado y seguidamente se procederá a secar los concentrados de Pb y Zn en un horno.

**c. Preparación de Briquetas:**

Mezclar el mineral con la resina preparada, tomando en cuenta la relación de proporción de 1:1; es decir, si tomamos una muestra preparada de mineral de 5 gr, se necesitará mezclar con 5 gr de resina epóxica. Adicionar a la mezcla homogénea 25 gotas de peróxido y vaciar en un molde adecuado. Dejar endurecer en el horno por 10 minutos aproximadamente.

**d. Lijado y pulido de briquetas**

Se procederá al desbaste de las briquetas con lijas N° 150, 250, 350, 400, 600, 800, 1000 y 2000. Seguidamente sobre un paño adicionará alúmina de 0.3 um y se procederá al pulido.

**e. Limpieza de Briquetas:**

Realizar la limpieza de las briquetas con acetona utilizando el limpiador ultrasónico. Finalmente, las briquetas estarán lista para ver en los microscopios.

**Análisis mineralógico por difracción de Rayos X**

Para el análisis mineralógico por DRX se realiza la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1%. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3%. La cuantificación de fases amorfas se evalúa a partir del 20% de contenido en la muestra. La identificación y cuantificación de fases de silicatos de cobre es limitada debido a que éstas

carecen de ordenamiento estructural (baja cristalinidad). El método de preparación aplicado a la muestra fue de polvo aleatorio.

### **Análisis mineralógico por microscopía óptica de Luz Reflejada**

Para los estudios mineralógicos por microscopía óptica de luz reflejada se determinan los porcentajes estimados de los granos, tanto libres como intercrecidos. Además, se identificaron las especies de minerales presentes y se caracterizaron las texturas de sus intercrecimientos. La catalogación “traza” alude a aquellas estimaciones de asociación o liberación, inferior a un 1%.

La medición de los diámetros de partículas de los minerales ensayados, con el objetivo de estimar la distribución de tamaños, se realizó siguiendo el criterio de diámetro de Feret (Tabla 2).

El análisis de liberación y asociaciones con énfasis en minerales de esfalerita y galena se enfoca integrando toda la distribución de tamaño presente en la sección de ensayo. Por tanto, el conteo de partículas de mineral libre o intercrecimiento abarcará todo el rango de distribución de tamaño que presenta la sección evaluada en toda la superficie de la sección de estudio. El diámetro de la sección ensayada es de 30 milímetros.

### **Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido**

Para los estudios por microscopía electrónica de barrido (MEB) se reportan los minerales presentes, la morfología y tamaño de los granos analizados a partir de los análisis elementales realizados sobre las muestras en varios campos. Además, los análisis elementales para la determinación de los elementos comprendieron desde el berilio hasta el uranio, reportándose los valores en porcentaje en peso de cada elemento (Wt%) normalizado. Cada análisis se presenta con las imágenes de las regiones estudiadas en el microscopio

electrónico de barrido. El límite de detección de la técnica es de 0.1% para los microanálisis. El análisis por microscopía electrónica de barrido se enfoca en la identificación de minerales portadores de plata o impurezas adicionales que presenten las muestras ensayadas.

### Análisis del grado de liberación de los minerales en cada concentrado.

El análisis del grado de liberación de los minerales, consta de:

1. Conteo de partículas libres y/o mixtas.
2. Determinación cuantitativa de las partículas libres.
3. Porcentajes de intercrecimiento de las partículas minerales y del porcentaje de composición del grano mixto.

### Figura N°13.

Modelo de análisis mineralógico grado de liberación.

MIR 1 VETA INKARACAY +100								
Partículas Libres	No. Part.	%Vol	Grado de Liberación (%)	GGs	py	apy	goe	Au
Gangas	1619.00	95.18	99.62	95.18	100.00	%VOL G.L.P		
Pirita	52.00	3.06	90.14		3.06	100.00		
Arsenopirita	4.00	0.24	89.17			0.24	100.00	
Goethita	0.00	0.00	5.94				0.00	0.00
Oro Nativo	1.00	0.06	100.00					0.06
<b>Parcial</b>	<b>1676.00</b>	<b>98.53</b>		<b>95.18</b>	<b>3.06</b>	<b>0.24</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>
<b>Partículas Mixtas</b>			<b>Asociaciones (Ver subtítulo IV)</b>					
GGs/py	20.00	1.18	1a (I, II), 1e (IV)	0.93	63.75	0.25	9.36	
py/goe	3.00	0.18	2a (III)		0.17	31.63	0.01	3.63
GGs/goe	1.00	0.06	1a (I, IV), 1e (II, IV)	0.05	36.80		0.00	4.80
Apy/goe	1.00	0.06	1e (I)			0.05	38.25	0.01
<b>Total</b>	<b>1701.00</b>	<b>100.00</b>						
<b>%Volumen</b>				<b>96.16</b>	<b>3.48</b>	<b>0.29</b>	<b>0.02</b>	<b>0.06</b>
<b>Peso Específico</b>				<b>2.6</b>	<b>5.01</b>	<b>6.1</b>	<b>3.8</b>	<b>17.64</b>
<b>%Peso</b>				<b>92.5</b>	<b>6.44</b>	<b>0.64</b>	<b>0.03</b>	<b>0.38</b>
<b>Grado de Liberación</b>				<b>99.62</b>	<b>90.14</b>	<b>89.17</b>	<b>5.94</b>	<b>100</b>
				<b>GGs</b>	<b>py</b>	<b>apy</b>	<b>goe</b>	<b>Au</b>

Nota: Imagen tomada de SMEB

### 3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico descriptivo de los datos se desarrolló con la asistencia del software Hoja de cálculo (Excel)

### **3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica**

La investigación se realizó con el apoyo de la empresa Sociedad Minera El Brocal, respetando los códigos de ética de autoría de estudios previos, por tal motivo la bibliografía utilizada en la parte teórica esta empleada respetando la identidad del autor.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

Se realizó en el estudio en SMEB - Planta concentradora N°2, donde para obtener información de cómo puede influir el análisis mineralógico se recolectó muestras de concentrado de Pb y Zn en el área de patio concentrado, así mismo una vez recolectado las muestras se procedió a realizar las muestras de briquetas para posteriormente enviar las muestras al laboratorio BIZALap (Lima) donde se evaluó la caracterización y grado de liberación del mineral por el método de difracción de rayos X y por microscopía electrónica por barrido.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

##### **4.2.1. Caracterización mineralógica del Pb**

##### **Evaluación por difracción de rayos X**

La composición mineralógica global encontrada de la muestra se puede visualizar en la tabla 4.

##### **Tabla 4.**

*Muestra Concentrado de Pb*

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Galena	PbS	55
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	19
Esfalerita	(Zn,Fe)S	10
Pirita	FeS <sub>2</sub>	6
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	5
Anglesita	PbSO <sub>4</sub>	2
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< L. D.
Marcasita	FeS <sub>2</sub>	< L. D.

*Nota:* Tabla de elaboración propia detallando los resultados de la muestra de concentrado de Pb.

### **Evaluación por microscopía óptica de luz reflejada**

Los resultados del estudio, se presentan en las Tablas 5 y 6 respectivamente, el análisis de liberación con énfasis en galena y esfalerita.

Respecto a la liberación y asociación con énfasis en galena, la muestra “Concentrado Pb” presenta un porcentaje estimado de galenas libres de un 91.6%, teniendo un tamaño de 100% por debajo de los 76 micrones. El principal intercrecimiento de la galena se manifiesta como galena-esfalerita. Las asociaciones de la galena son principalmente de tipo lateral (Tabla 5). De manera adicional, se han identificado principalmente partículas libres de enargita y cobres grises asociado principalmente a calcopirita.

Respecto a la liberación y asociación con énfasis en esfalerita, la muestra “Concentrado Pb” presenta un porcentaje estimado de esfaleritas libres de un 10.8%, teniendo un tamaño de 100% por debajo de los 76 micrones. El principal intercrecimiento de la esfalerita se manifiesta como esfalerita-galena. Las asociaciones de la esfalerita son principalmente de tipo lateral (Tabla 6).



**Tabla 6.**

*Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en esfalerita.*

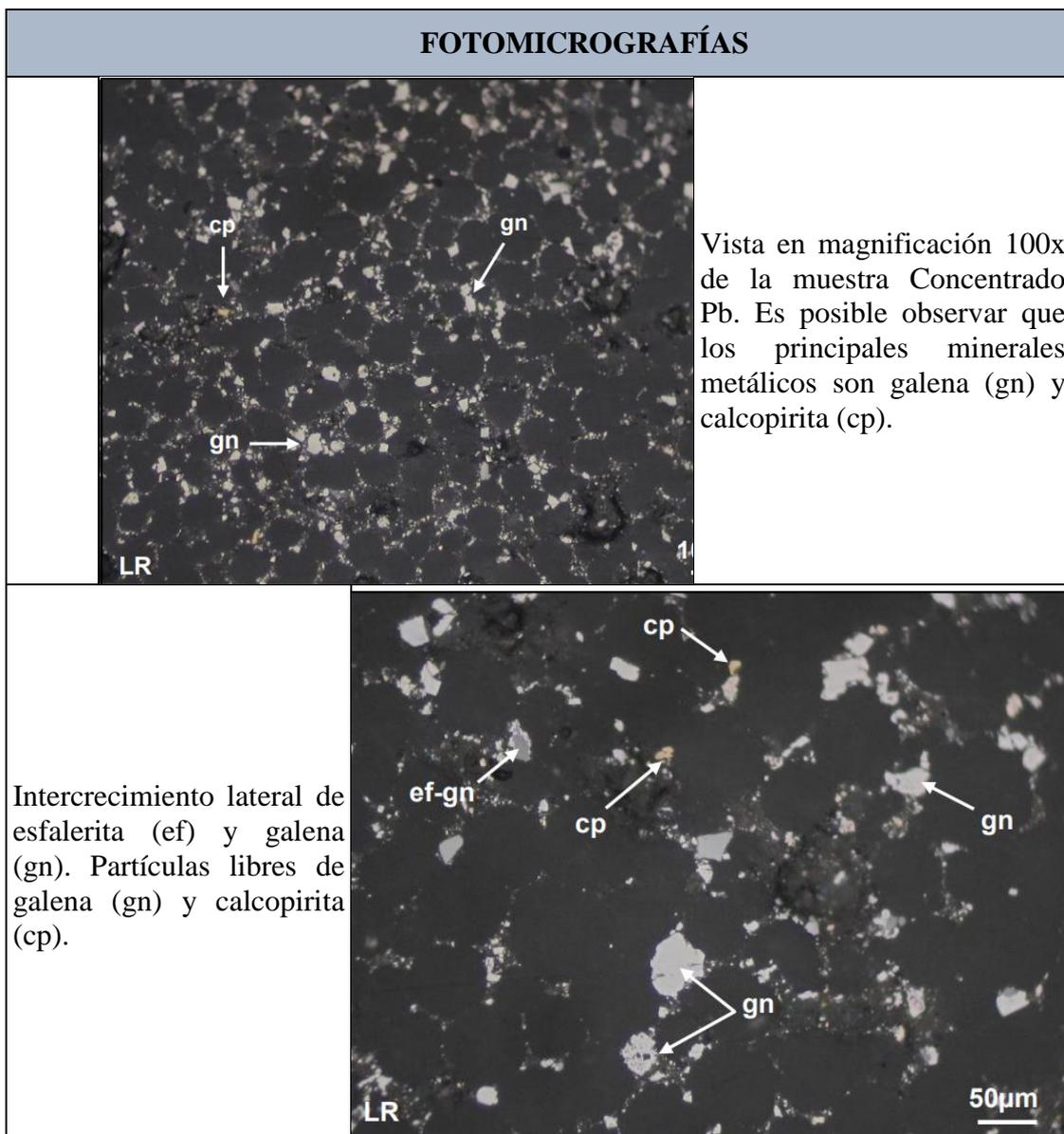
ANÁLISIS DE LIBERACIÓN Y ASOCIACIONES: ÉNFASIS ESFALERITA		:Muestra Concentrado Pb	
<b>DISTRIBUCIÓN GLOBAL ESFALERITA</b>		<b>ASOCIACIONES A ESFALERITA</b>	
	%	<b>ASOCIACION</b>	%
ef	10.8	ef	75.8
ef - gn	67.6	gn	
ef - py	2.7	ef	3.0
ef - py - gn	5.4	py	
ef - GGs	2.7	ef	6.1
ef - gn - cp	8.1	py - gn	
ef - gn - hm	2.7	ef	3.0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	GGs	
		ef	9.1
<b>TIPO DE ASOCIACIONES DE ESFALERITA</b>		gn - cp	
<b>ASOCIACION</b>	%	ef	3.0
Ocluida	3.0	gn - hm	
Lateral	93.9		
Diseminada	3.0		
Corona	0.0		
Vetillas	0.0		
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		
		ef	ESFALERITA
<b>DISTRIBUCIÓN (%) POR TAMAÑO DE ESFALERITA EN ASOCIACIONES</b>		<b>DISTRIBUCIÓN (%) POR TAMAÑO DE ESFALERITA LIBRE</b>	
$\mu\text{m}$	%	$\mu\text{m}$	%
<13	24.4	<13	31.7
13-15	19.5	13-15	17.1
16-23	12.2	16-23	14.6
24-32	24.4	24-32	14.6
33-75	19.5	33-75	22.0
76-106	0.0	76-106	0.0
>106	0.0	>106	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>
<b>Observaciones:</b>			
* El porcentaje de ESFALERITA en asociaciones menor a 15 micrones es de		<b>43.9%</b>	
* El porcentaje de ESFALERITA libres menor a 15 micrones es de		<b>48.8%</b>	

*Nota:* Tabla tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

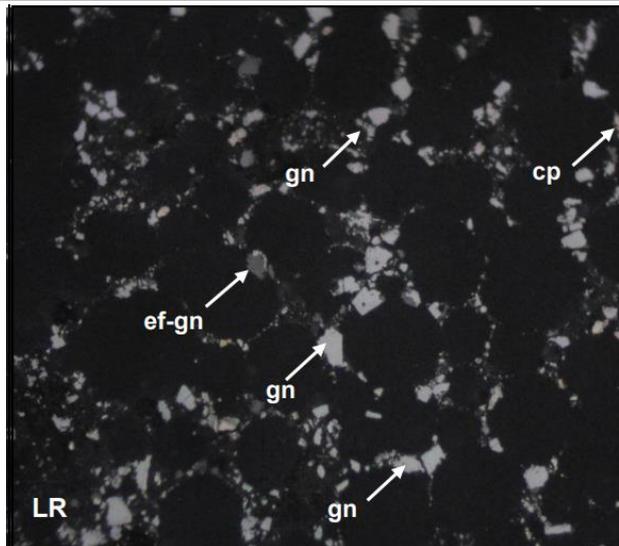
A continuación, se presentan las fotomicrografías más representativas correspondientes a lo observado en los estudios realizados con microscopía óptica de luz reflejada.

**Tabla 7.**

*Fotomicrografías de la muestra de Concentrado de Pb – MO LR.*

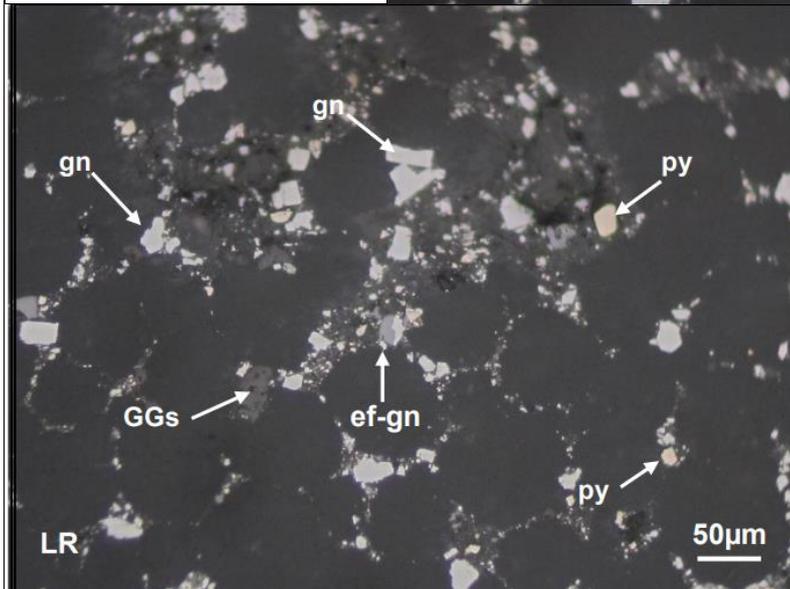
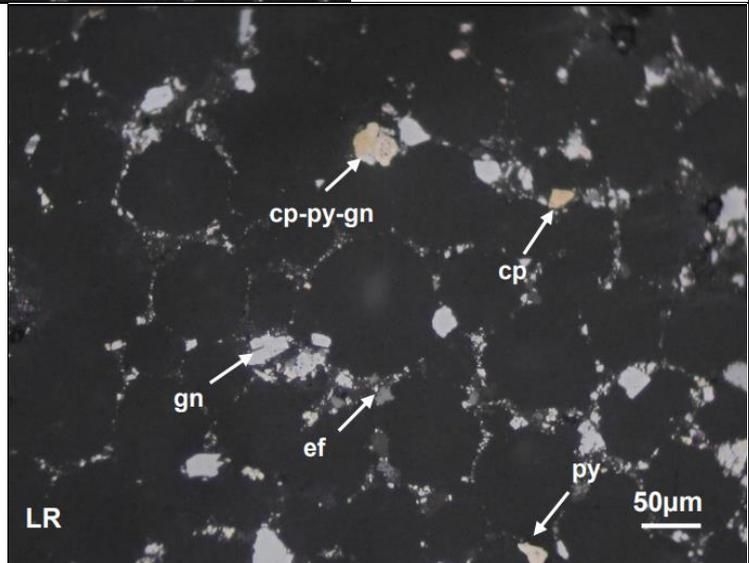


## FOTOMICROGRAFIAS

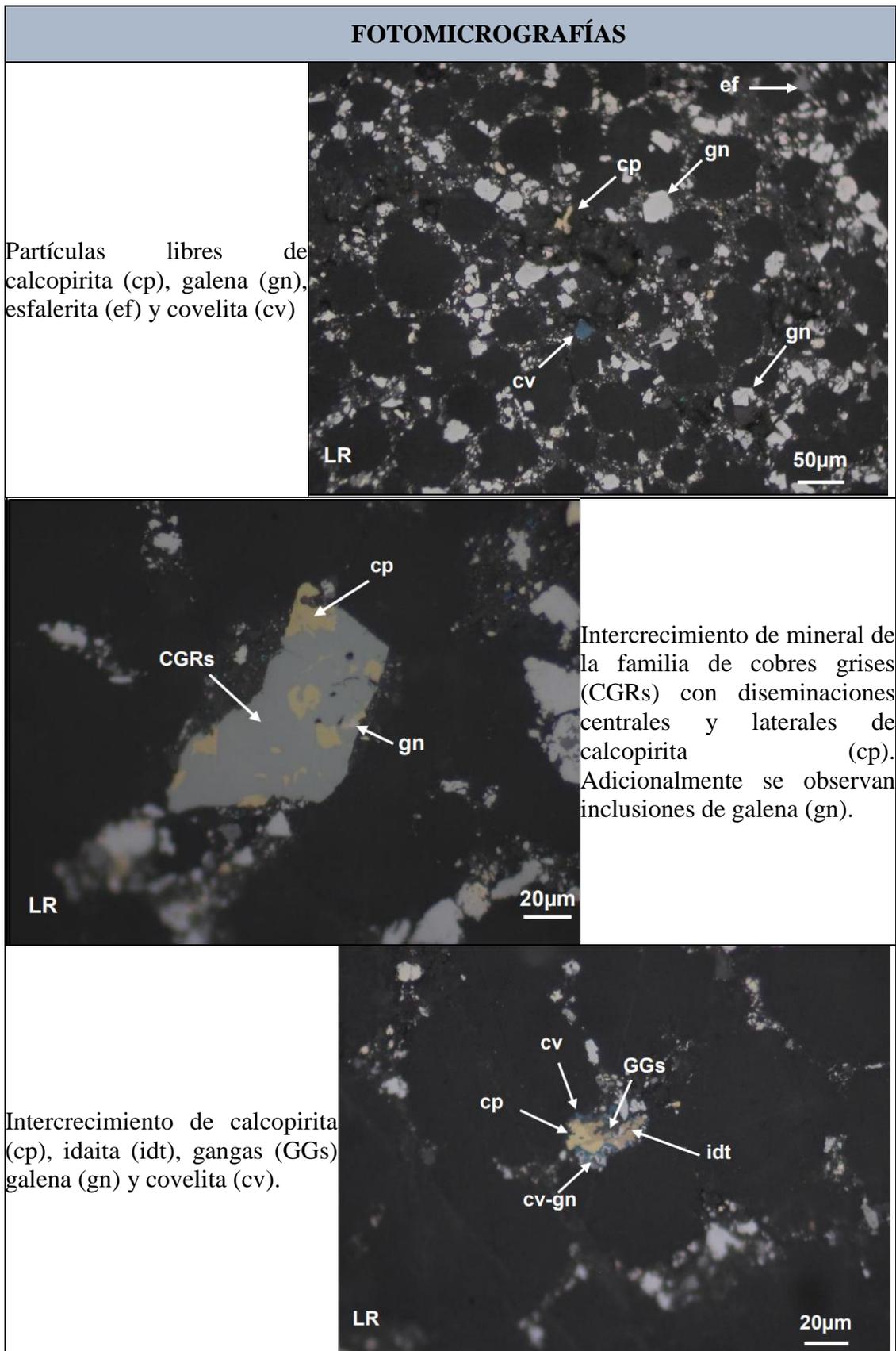


Intercrecimiento lateral de esfalerita (ef) y galena (gn). Partículas libres de galena (gn) y calcopirita (cp).

Intercrecimientos laterales de calcopirita (cp), pirita (py) y galena (gn). Partículas libres de galena (gn), calcopirita (cp), esfalerita (ef) y pirita (py).



Intercrecimiento lateral de esfalerita (ef) y galena (gn). Partículas libres de pirita (py), galena (gn) y gangas (GGs).



*Nota:* Tabla tomada del informe Elaborado por el laboratorio BIZALAB.

## Evaluación por microscopía electrónica de barrido

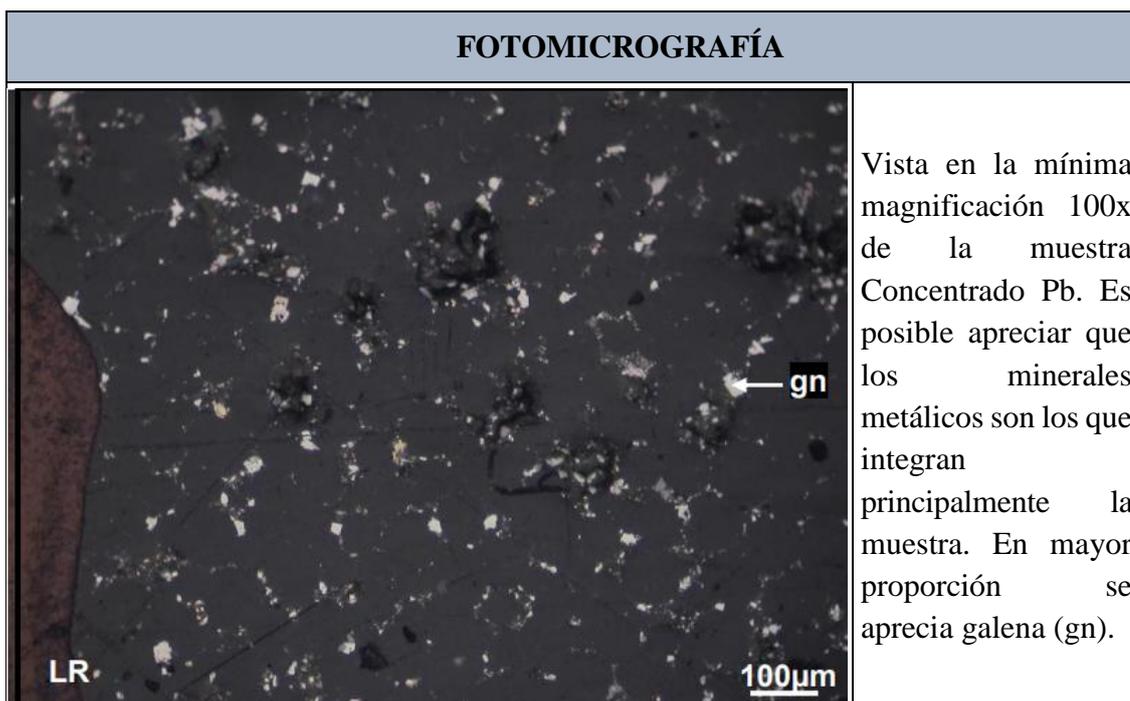
La muestra presenta una alta proporción de minerales metálicos, siendo la galena la que presenta una mayor proporción respecto a este tipo de minerales. El resto de los minerales metálicos se encuentran en proporciones de traza, son los siguientes:

- Enargita [(Cu,Fe)<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>].
- Enargita con contenido de antimonio [(Cu,Fe)<sub>3</sub>(As,Sb)S<sub>4</sub>].
- Enargita con contenido de plata [(Cu,Fe,Ag)<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>].
- Galena (PbS).
- Calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>).
- Pirita (FeS<sub>2</sub>).
- Esfalerita [(Zn,Fe)S].
- Idaita (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>6</sub>).
- Covelita con contenido de plata [Cu,Ag]S].
- Covelita con contenido de hierro y plata [Fe,Cu,Ag]S].
- Colusita [Cu<sub>26</sub>V<sub>2</sub>(As,Sn)<sub>6</sub>S<sub>32</sub>].
- Tennantita [Cu<sub>6</sub>[Cu<sub>4</sub>(Fe,Zn)<sub>2</sub>](As,Sb)<sub>4</sub>S<sub>13</sub>].
- Tennantita con contenido de plata [(Cu,Ag)<sub>6</sub>[Cu<sub>4</sub>(Fe,Zn)<sub>2</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub>].

A continuación, se presenta en la Tabla 8 la fotomicrografía más representativa correspondiente a lo observado en los estudios realizados con microscopía electrónica de barrido, asimismo en la Tabla 9 se presenta la distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra “Concentrado Pb”.

### **Tabla 8.**

*Fotomicrografía de la muestra de Concentrado de Pb – MEB.*



*Nota:* Tabla tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Tabla 9.**

*Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra “Concentrado Pb”.*

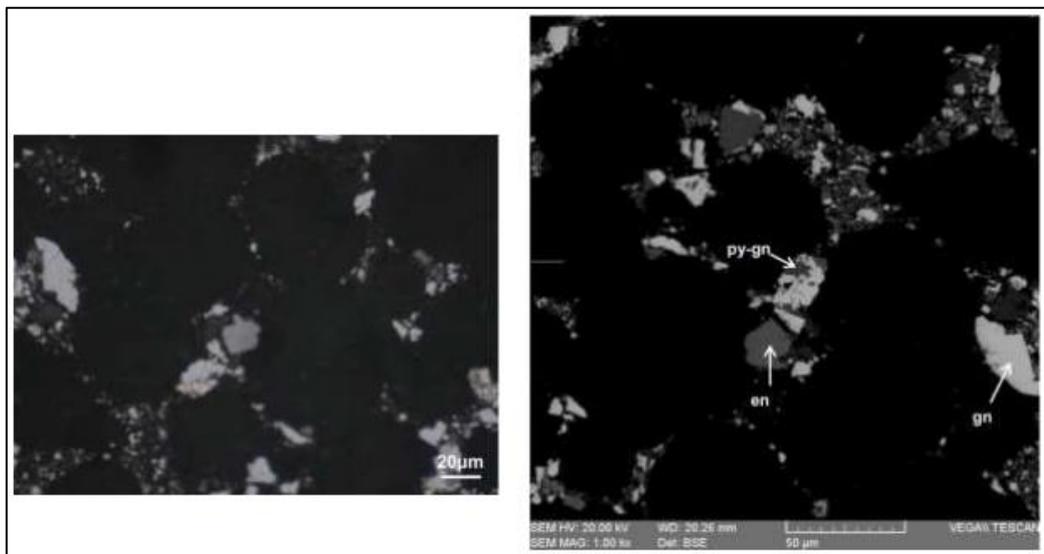
Minerales	Composición química (%)										TOTAL
	Fe	As	Sb	Sn	Pb	V	Zn	Ag	Cu	S	
Enargita	0.41	19.14							47.46	33.01	100
Enargita_Sb	0.76	17.85	1.26						47.18	32.97	100
Enargita_Ag	0.37	18.48						0.15	44.66	33.04	97
Galena					86.87					13.13	100
Calcopirita	29.88								34.19	35.93	100
Pirita	46.64									53.36	100
Esfalerita	0.54						66.09			33.37	100
Idaita_Ag	3.08							6.45	39.81	30.68	100
Covelita-Ag								0.13	66.01	33.86	100
Covelita-Fe-Ag	4.49							2.03	59.28	34.21	100
Colusita		10.28		5.43		2.45			49.09	32.37	100
Tennantita	0.5	19.2	0.5				6.2		44.5	29.06	100
Tennantita_Ag	0.7	19.2					7.7	0.3	43.0	29.23	100

*Nota:* Tabla tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

A continuación, se muestran algunas imágenes con las fases minerales analizadas:

**Figura N°14.**

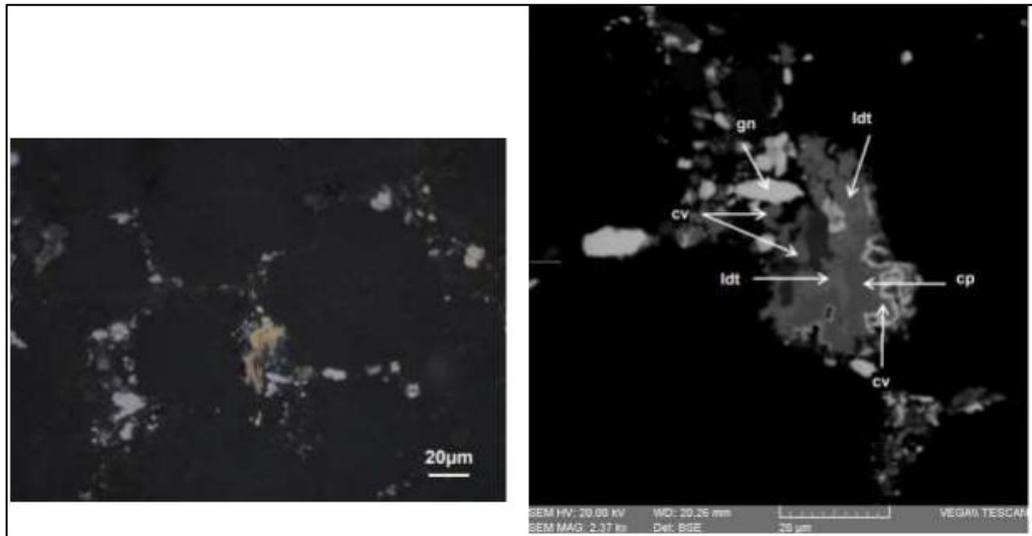
*Aumento 2370x. Partículas libres de galena (gn). Intercrecimiento de calcopirita (cp), idaita (idt) y covelita (cv).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°15.**

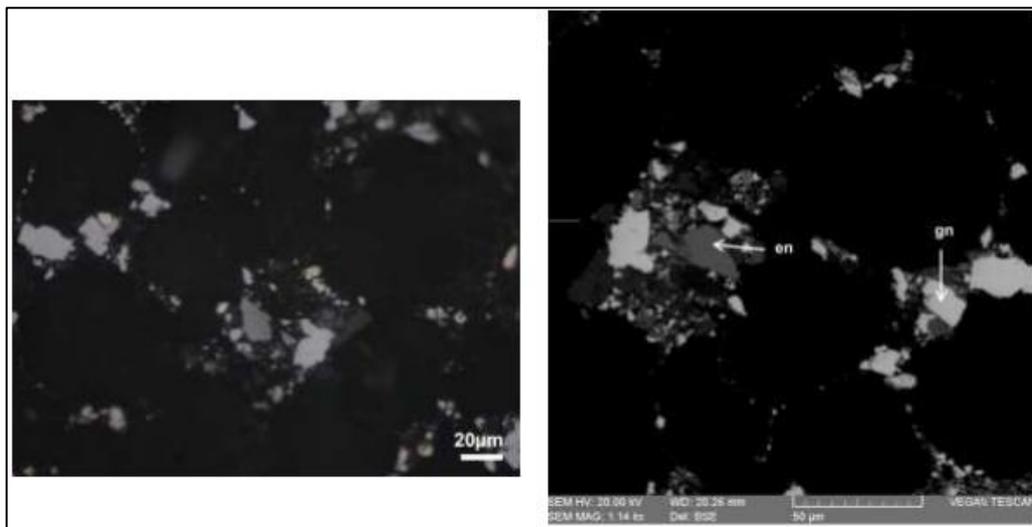
*Aumento 1000x. Partículas libres de galena (gn) y enargita (en). Pirita intercrecido con galena (py-gn).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°16.**

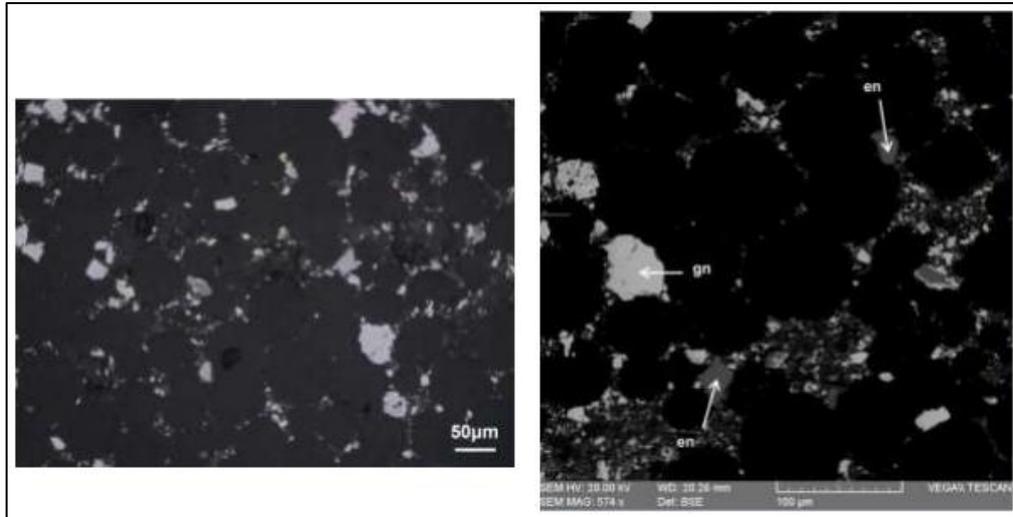
*Aumento 1140x. Partículas libres de enargita (en) y galena (gn).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°17.**

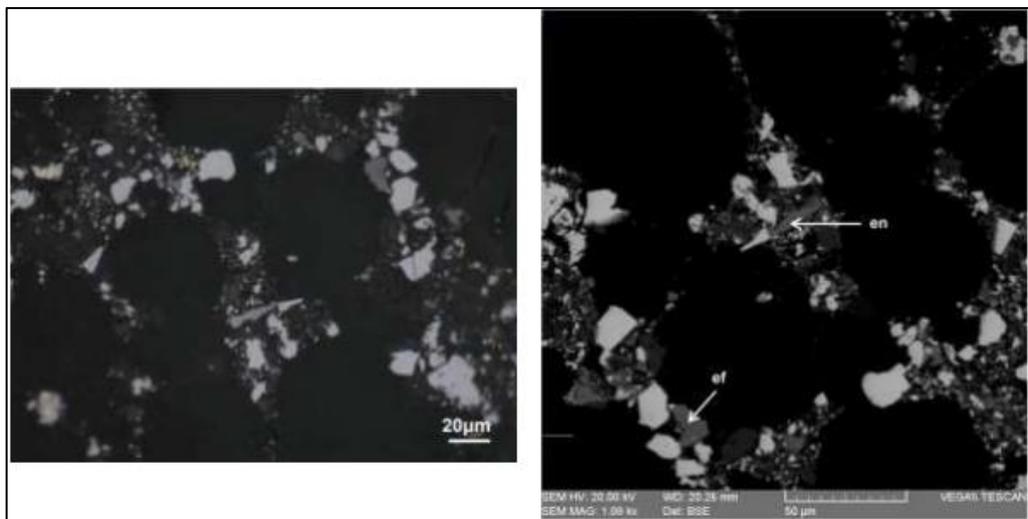
*Aumento 574x. Partículas libres de enargita (en) y galena (gn).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°18.**

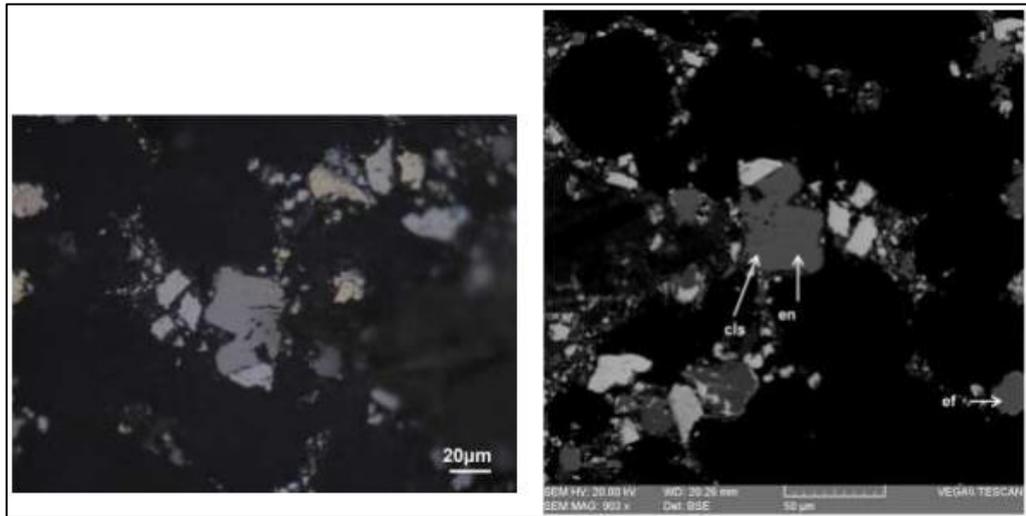
*Aumento 1080x. Partículas libres de esfalerita (ef) y enargita (en).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°19.**

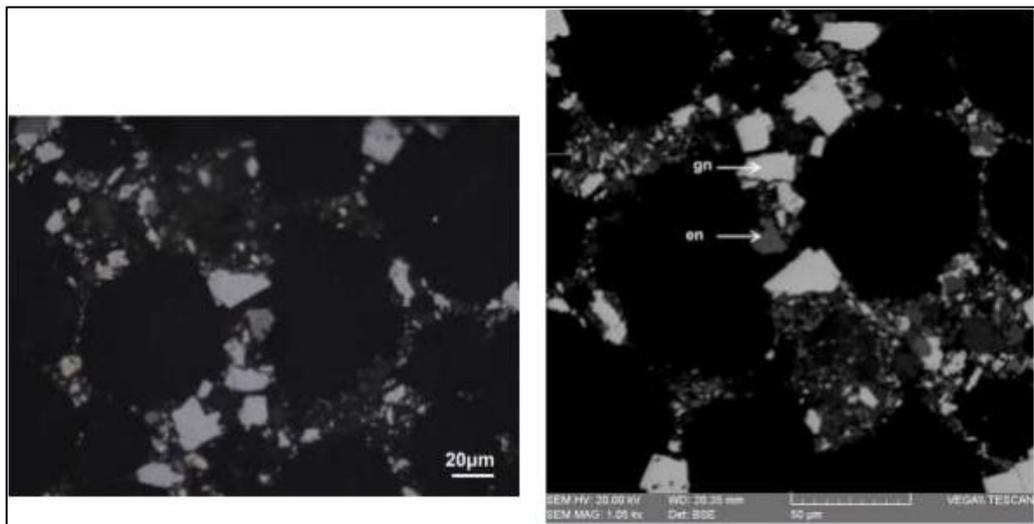
*Aumento 903x. Partículas libres de esfalerita (ef), Asociación lateral de (en, clc).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°20.**

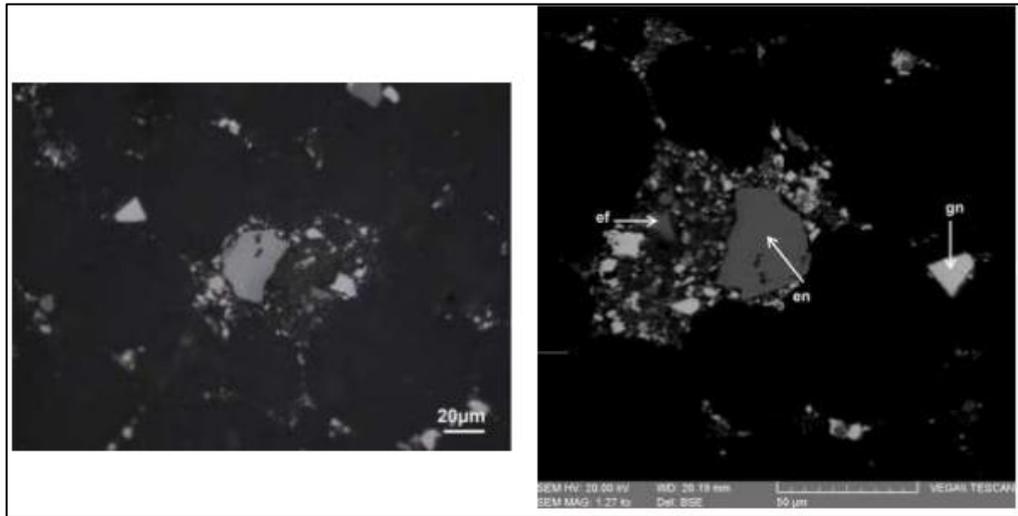
*Aumento 1050x. Partículas libres de enargita con antimonio (en\_Sb).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°21.**

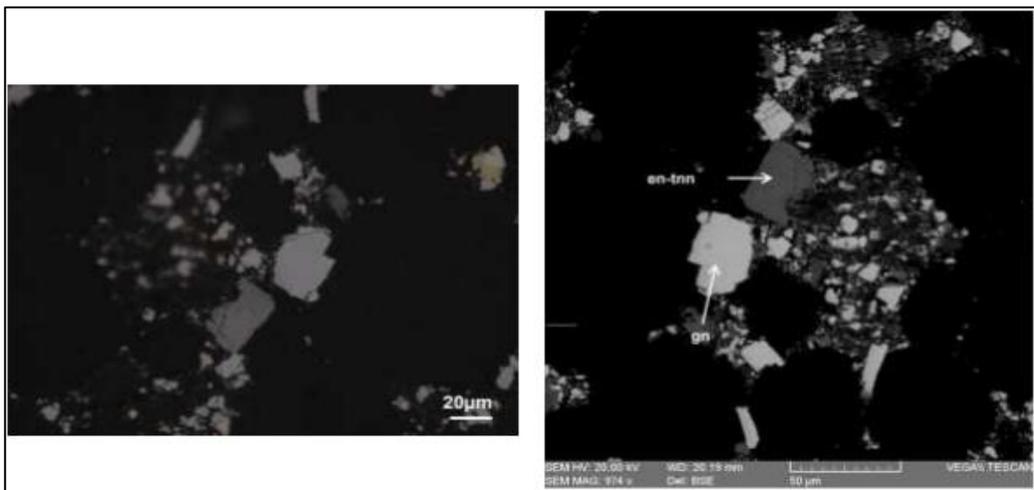
*Aumento 1270x. Partículas libres de enargita (en), esfalerita (ef) y galena (gn).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°22.**

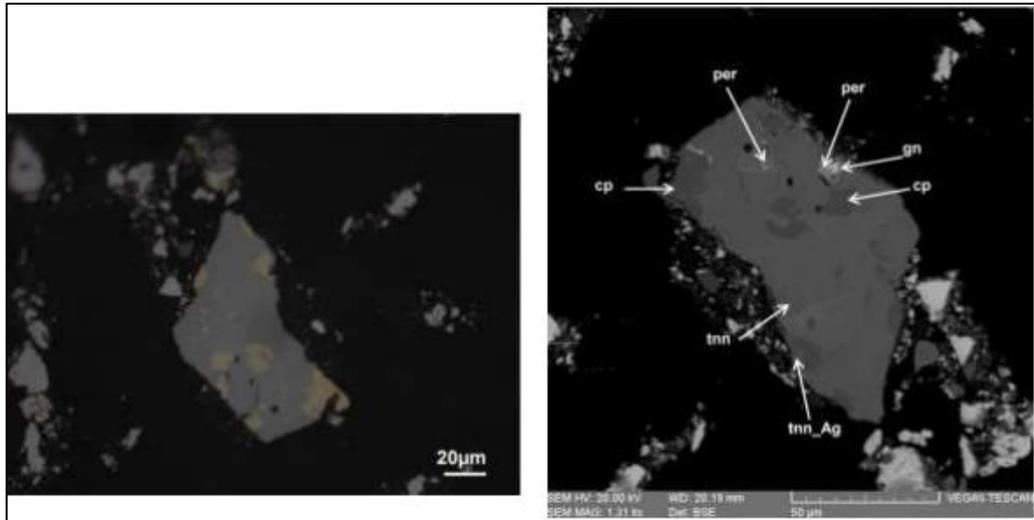
*Aumento 974x. Partícula libre de galena (gn). Diseminaciones de tennantita en enargita (en).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°23.**

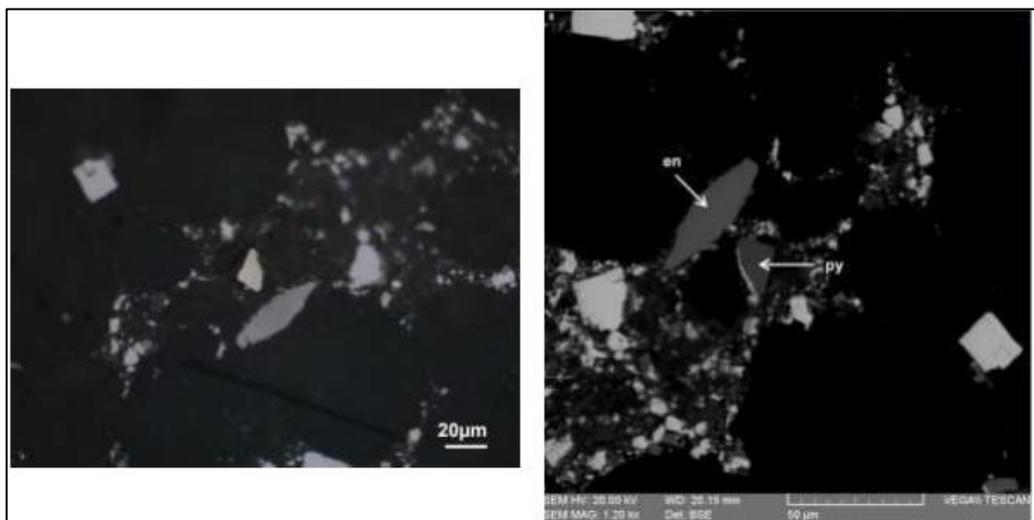
Aumento 1310x. Intercrecimiento de tennantita (tnn), tennantita con plata (tnn), calcopirita (cp) y pearceita (per). Presenta una inclusión en el borde de galena (gn).



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°24.**

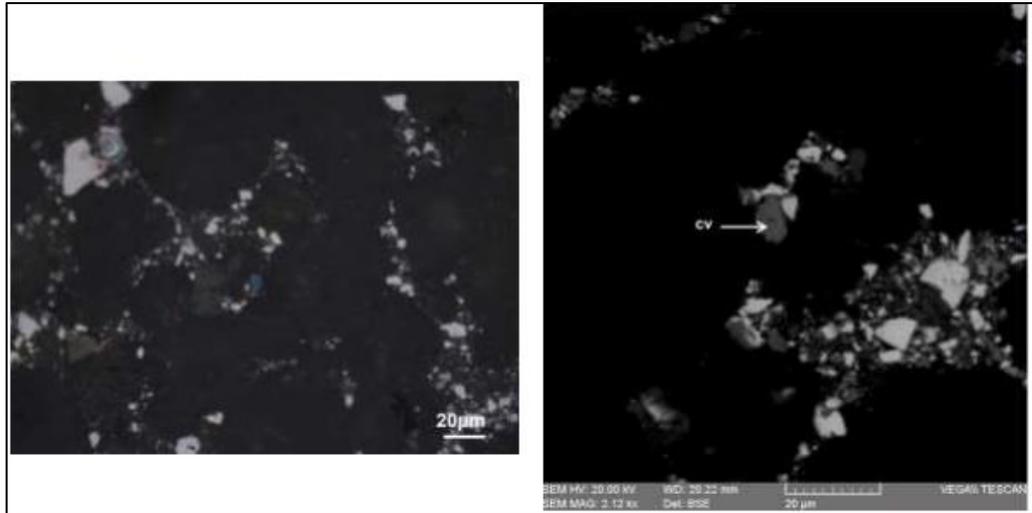
Aumento 1200x. Partículas libres de enargita (en) y pirita (py).



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°25.**

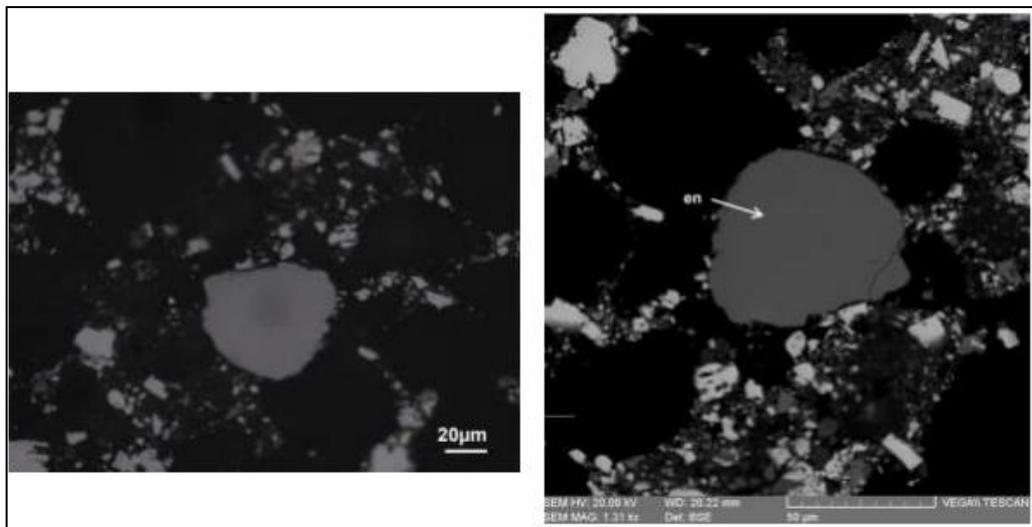
*Aumento 2120x. Partícula libre de covelita (cv).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°26.**

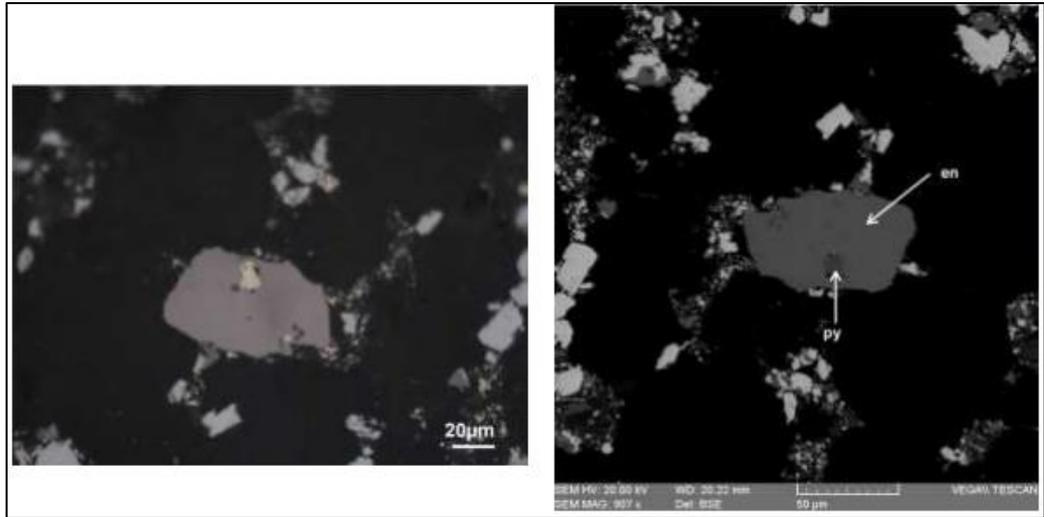
*Aumento 1310x. Partícula libre de enargita (en).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°27.**

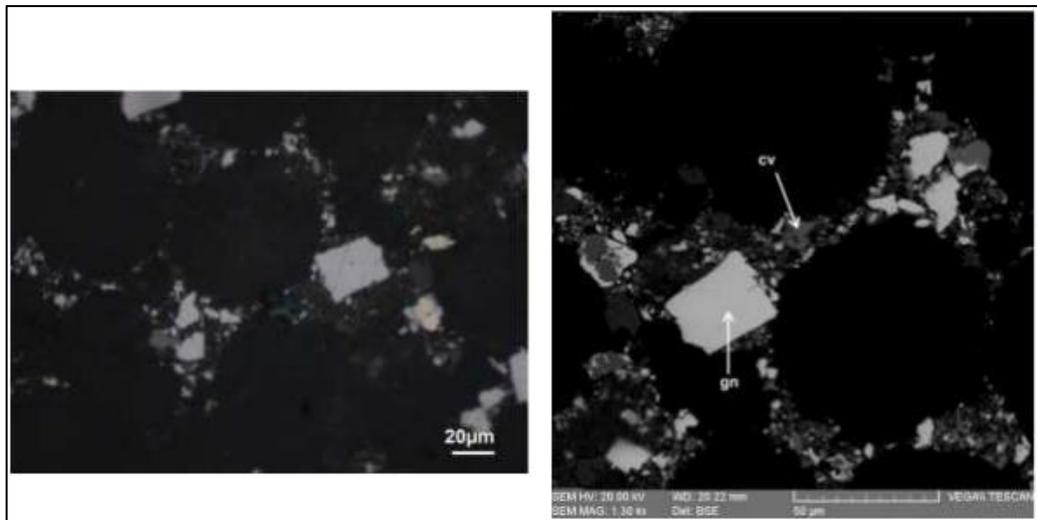
*Aumento 907x. oclusión de pirita (py) en enargita (en).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°28.**

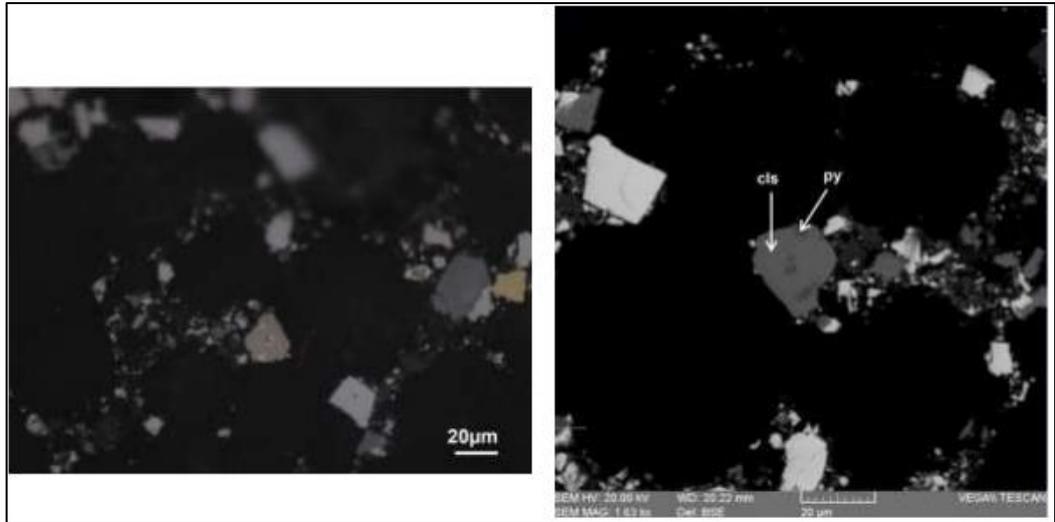
*Aumento 1300 x. Partículas libres de galena (gn) y covelita (cv).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°29.**

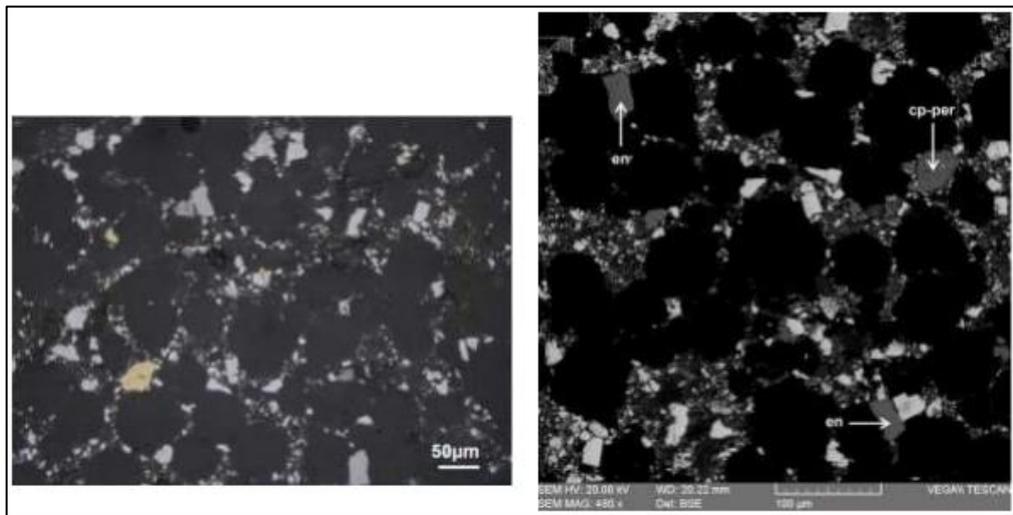
*Aumento 1630x. Diseminaciones de pirita (py) en colusita (cls).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°30.**

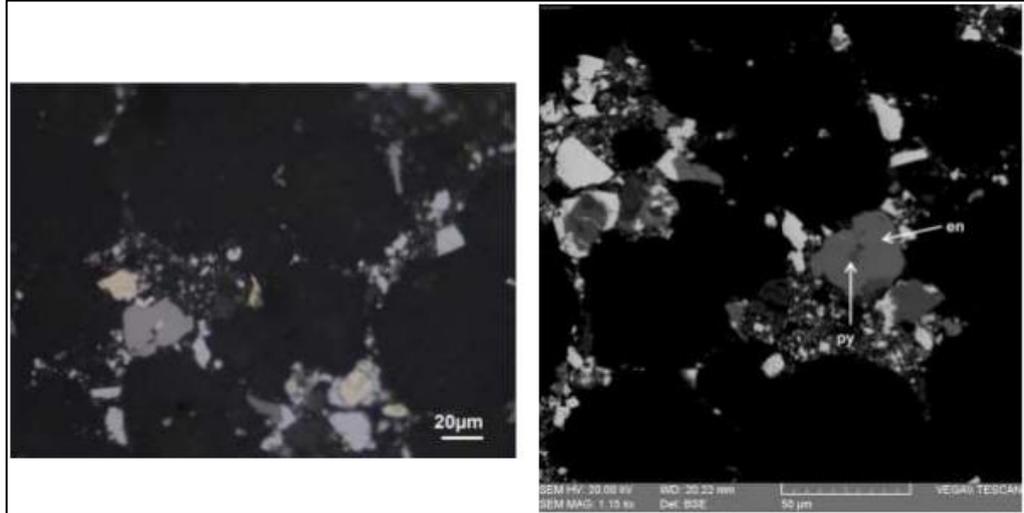
*Aumento 480x. Partículas libres de enargita (en).*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Figura N°31.**

*Aumento 1150x. oclusión de pirita (py) en enargita.*



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Análisis del Grado de liberación**

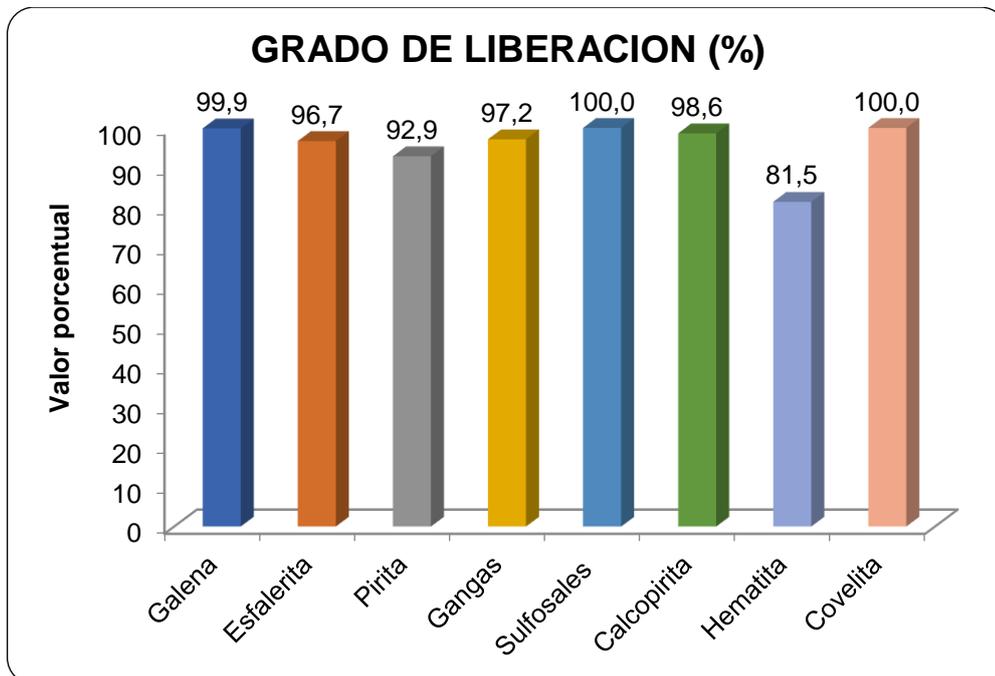
A continuación, se presenta en la Tabla 10 el análisis del grado de liberación de las especies minerales presentes en la muestra del concentrado de Pb Malla 400 en el área de flotación. Se evidencia la presencia de partículas libres de galena (gn) que contribuye a la calidad del concentrado. Se observa que más del 90% presenta partículas libres de galena (gn) con un alto grado de liberación del 99.89%.

En el gráfico N°1, se presenta el diagrama porcentual del grado de liberación de las especies minerales presentes en el concentrado de Pb. La grafica N°15 presenta la relación de intercrecimientos y asociaciones de las partículas mixtas y la Grafica N°3 representa la relación volumen - peso de las partículas.



**Gráfico N° 1.**

*Grado de Liberación de las especies - Concentrado de Pb.*



*Nota: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 2.**

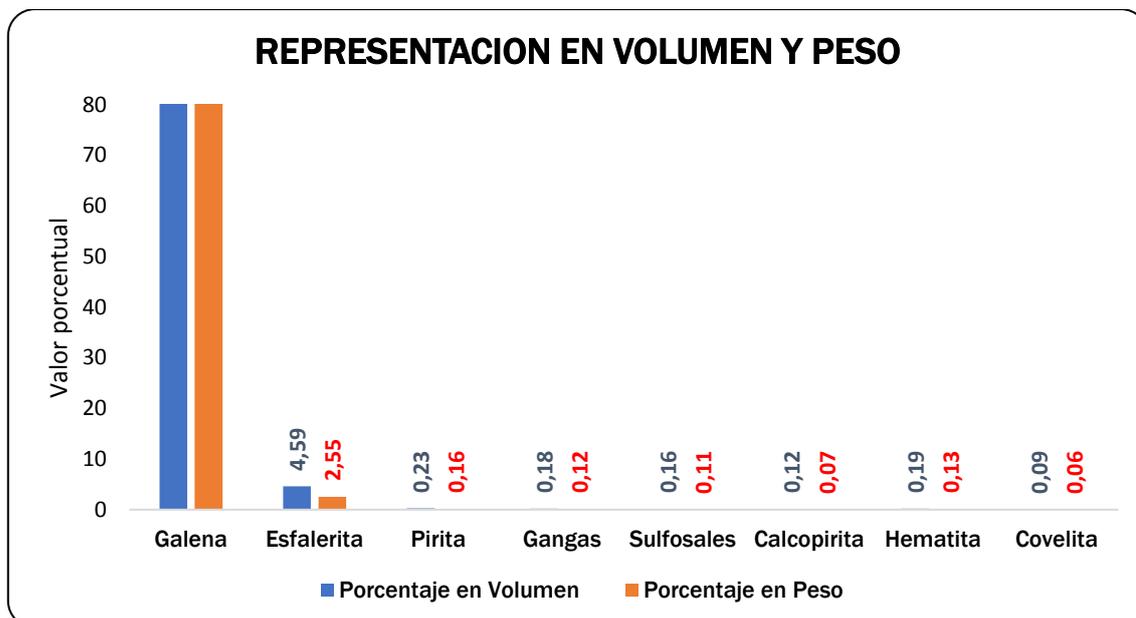
*Intercrecimientos y Asociaciones - Concentrado de Pb.*



*Nota: Elaboración Propia.*

### Gráfico N° 3.

Representación de Volumen y Peso - Concentrado de Pb.



Nota: Elaboración Propia.

#### 4.2.2. Caracterización mineralógica del Zn

##### Evaluación por difracción de rayos X

La composición mineralógica global encontrada de la muestra se puede visualizar en la tabla 11.

**Tabla 11.**

*Muestra Concentrado de Zn.*

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Esfalerita	(Zn,Fe)S	82
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	8
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	3
Anglesita	PbSO <sub>4</sub>	3
Galena	PbS	2
Pirita	FeS <sub>2</sub>	< L. D.
Marcasita	FeS <sub>2</sub>	< L. D.

**Nota:** Tabla elaborada en el informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

### **Evaluación por microscopía óptica de luz reflejada**

Los resultados del estudio, se presentan en las Tablas 12 y 13 respectivamente, el análisis de liberación con énfasis en esfalerita y galena.

Respecto a la liberación y asociación con énfasis en esfalerita para la muestra “Concentrado Zn” presenta un porcentaje estimado de esfaleritas libres por sobre el 95%, teniendo un tamaño de 100% por debajo de los 76 micrones. El principal intercrecimiento de la esfalerita se manifiesta en galena, seguido de pirita. En menor proporción se encuentra asociado a ganga, hematita, calcopirita y marcasita. Las asociaciones de la esfalerita son principalmente de tipo lateral, llegando a un 95%, estimado (Tabla 12).

Respecto a la liberación y asociación con énfasis en galena, la muestra “Concentrado Zn” presenta un porcentaje estimado de galenas libres sobre un 46%, teniendo un tamaño de 100% por debajo de los 76 micrones. El principal intercrecimiento de la galena se manifiesta en esfalerita, seguido de asociaciones con pirita, ganga; y en menor proporción con hematita, calcopirita, covelita y marcasita. Las asociaciones de la galena son principalmente de tipo lateral, llegando a un estimado por sobre el 95% (Tabla 13).

**Tabla 12.**

*Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en esfalerita.*

ANÁLISIS DE LIBERACIÓN Y ASOCIACIONES: ÉNFASIS ESFALERITA		:Muestra Concentrado Zn	
<b>DISTRIBUCIÓN GLOBAL ESFALERITA</b>		<b>ASOCIACIONES A ESFALERITA</b>	
		<b>ASOCIACION</b>	<b>%</b>
ef	95.7	ef	8.5
ef - GGs	0.4	GGs	
ef - py	1.2	ef	27.7
ef - gn	1.3	py	
ef - py - GGs	0.2	ef	29.8
ef - gn - py	0.5	gn	
ef - py - mc	0.1	ef	4.3
ef - gn - GGs	0.1	py - GGs	
ef - mc - gn	0.1	ef	12.8
ef - hm - GGs	0.1	gn - py	
ef - py - gn - GGs	0.1	ef	2.1
ef - hm - py	0.1	py - mc	
ef - cp - cv	0.1	ef	2.1
ef - cp - py - gn	0.1	gn - GGs	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	ef	2.1
		mc - gn	
<b>TIPO DE ASOCIACIONES DE ESFALERITA</b>		ef	2.1
		hm - GGs	
<b>ASOCIACION</b>	<b>%</b>	ef	2.1
Ocluida	2.1	py - gn - GGs	
Lateral	95.7	ef	2.1
Diseminada	2.1	hm - py	
Corona	0.0	ef	2.1
Vetillas	0.0	cp - cv	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	ef	2.1
		cp - py - gn	
		<b>ef</b>	<b>ESFALERITA</b>
<b>DISTRIBUCIÓN (%) POR TAMAÑO DE ESFALERITA EN ASOCIACIONES</b>		<b>DISTRIBUCIÓN (%) POR TAMAÑO DE ESFALERITA LIBRE</b>	
<b>µm</b>	<b>%</b>	<b>µm</b>	<b>%</b>
<13	20.3	<13	18.9
13-15	11.6	13-15	11.6
16-23	15.9	16-23	12.6
24-32	23.2	24-32	16.8
33-75	29.0	33-75	38.9
76-106	0.0	76-106	1.1
>106	0.0	>106	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>
<b>Observaciones:</b>			
* El porcentaje de ESFALERITA en asociaciones menor a 15 micrones es de		31.9%	
* El porcentaje de ESFALERITA libres menor a 15 micrones es de		30.5%	

*Nota:* Tabla elaborada en el informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Tabla 13.**

*Tabla de liberación y asociaciones con énfasis en galena.*

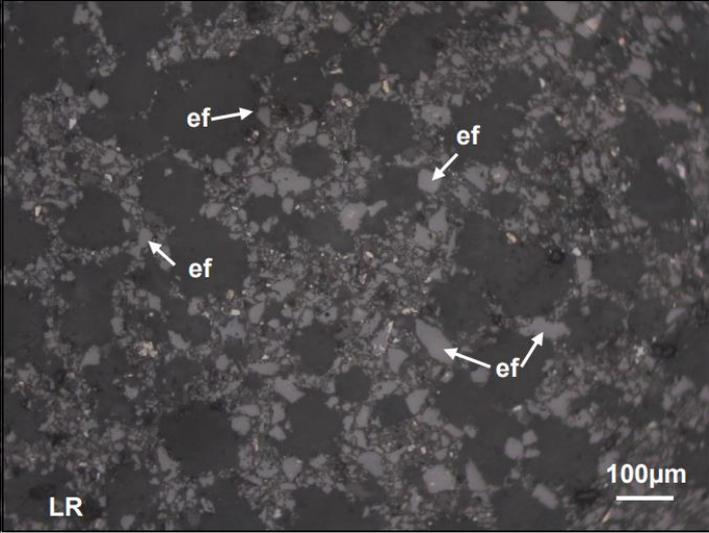
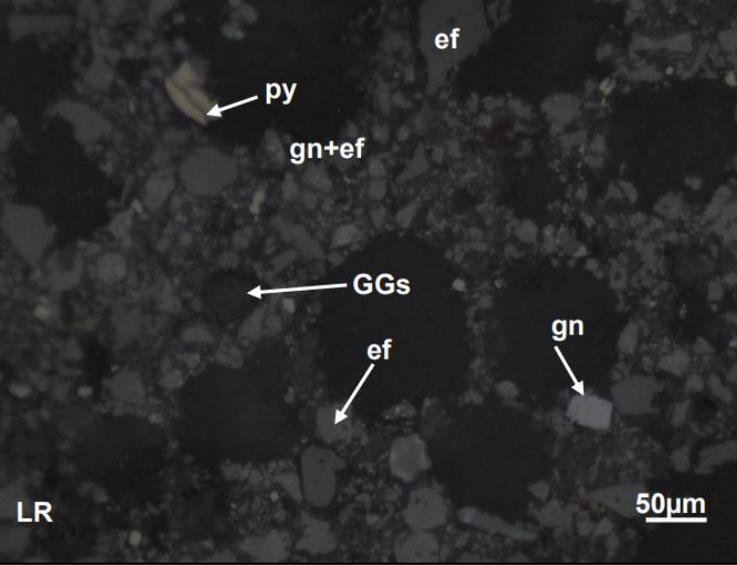
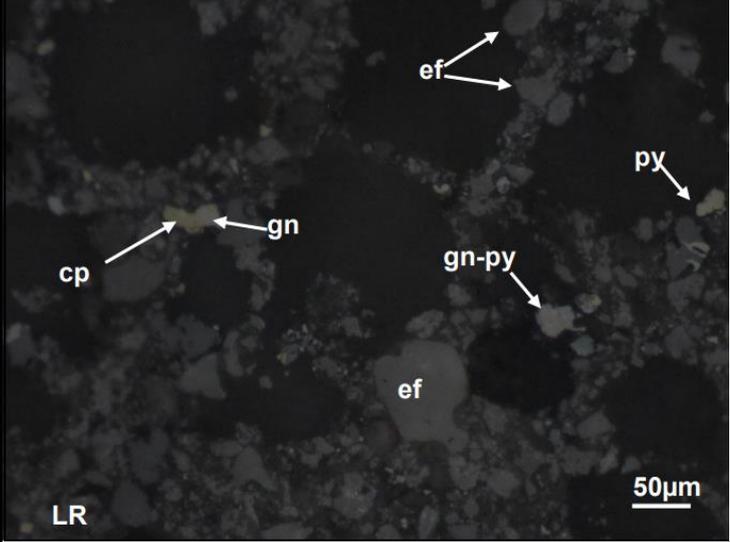
ANÁLISIS DE LIBERACIÓN Y ASOCIACIONES: ÉNFASIS GALENA		:Muestra Concentrado Zn	
<b>DISTRIBUCIÓN GLOBAL GALENA</b>		<b>ASOCIACIONES A GALENA</b>	
	%	<b>ASOCIACION</b>	<b>%</b>
gn	39.3	gn	16.2
gn - py - ef	9.8	py - ef	
gn - py	9.8	gn	16.2
gn - ef	19.7	py	
gn - mc - ef	3.3	gn	32.4
gn - hm - py - mc	3.3	ef	
gn - mc	3.3	gn	5.4
gn - ef - GGs - py	3.3	mc - ef	
gn - cp - ef	3.3	gn	5.4
gn - hm - ef	3.3	hm - py - mc	
gn - cp - ef - GGs	1.6	gn	5.4
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	mc	
<b>TIPO DE ASOCIACIONES DE GALENA</b>		ef - GGs - py	5.4
<b>ASOCIACION</b>	<b>%</b>	gn	5.4
Ocluida	5.6	cp - ef	
Lateral	88.9	gn	5.4
Diseminada	5.6	hm - ef	
Corona	0.0	gn	2.7
Vetillas	0.0	cp - ef - GGs	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		
<b>DISTRIBUCIÓN (%) POR TAMAÑO DE GALENA EN ASOCIACIONES</b>		<b>DISTRIBUCIÓN (%) POR TAMAÑO DE GALENA LIBRE</b>	
<b>µm</b>	<b>%</b>	<b>µm</b>	<b>%</b>
<13	22.2	<13	31.7
13-15	20.0	13-15	12.2
16-23	11.1	16-23	19.5
24-32	17.8	24-32	9.8
33-75	28.9	33-75	26.8
76-106	0.0	76-106	0.0
>106	0.0	>106	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>
		gn      GALENA	
<b>Observaciones:</b>			
* El porcentaje de GALENA en asociaciones menor a 15 micrones es de		42.2%	
* El porcentaje de GALENA libres menor a 15 micrones es de		43.9%	

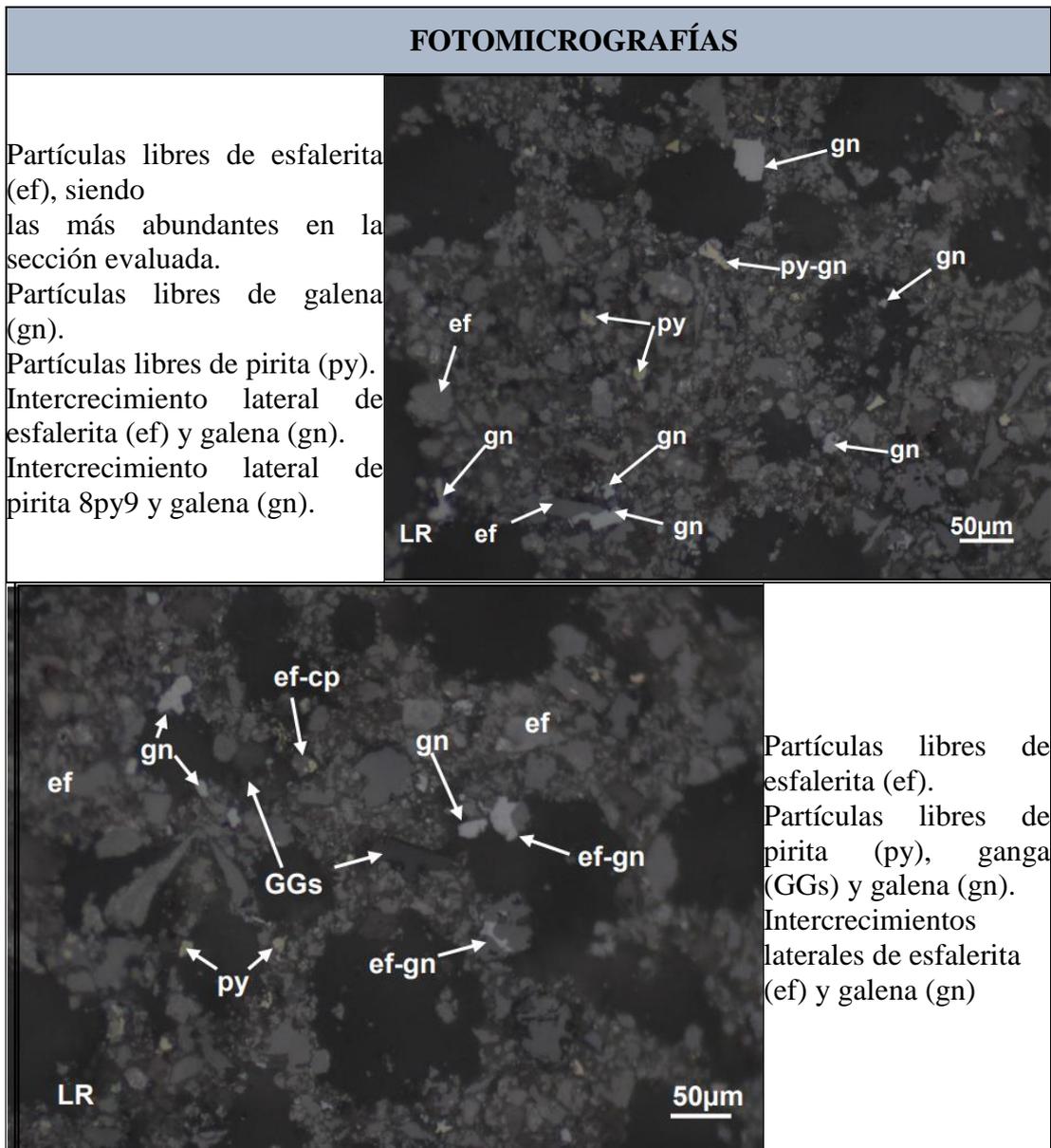
**Nota:** Tabla elaborada en el informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

A continuación, se presentan las fotomicrografías más representativas correspondientes a lo observado en los estudios realizados con microscopía óptica de luz reflejada.

**Tabla 14.**

Fotomicrografías de la muestra de Concentrado de Zn – MO LR

<b>FOTOMICROGRAFÍAS</b>	
	<p>Vista en magnificación 100x de la muestra “Concentrado Zn”. Se observa que el principal mineral metálico es la esfalerita (ef).</p>
<p>Partículas libres de esfalerita (ef). Partículas libres de ganga (GGs). Partícula libre de pirita (py).</p>	
	<p>Intercrecimiento lateral de calcopirita (cp) y galena (gn). Partículas libres de esfalerita (ef), siendo las más abundantes en la sección evaluada. Intercrecimiento de pirita (py) y galena (gn). Partícula libre de pirita (py).</p>



**Nota:** Tabla elaborada en el informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

### **Ensayo por microscopia electrónica de barrido**

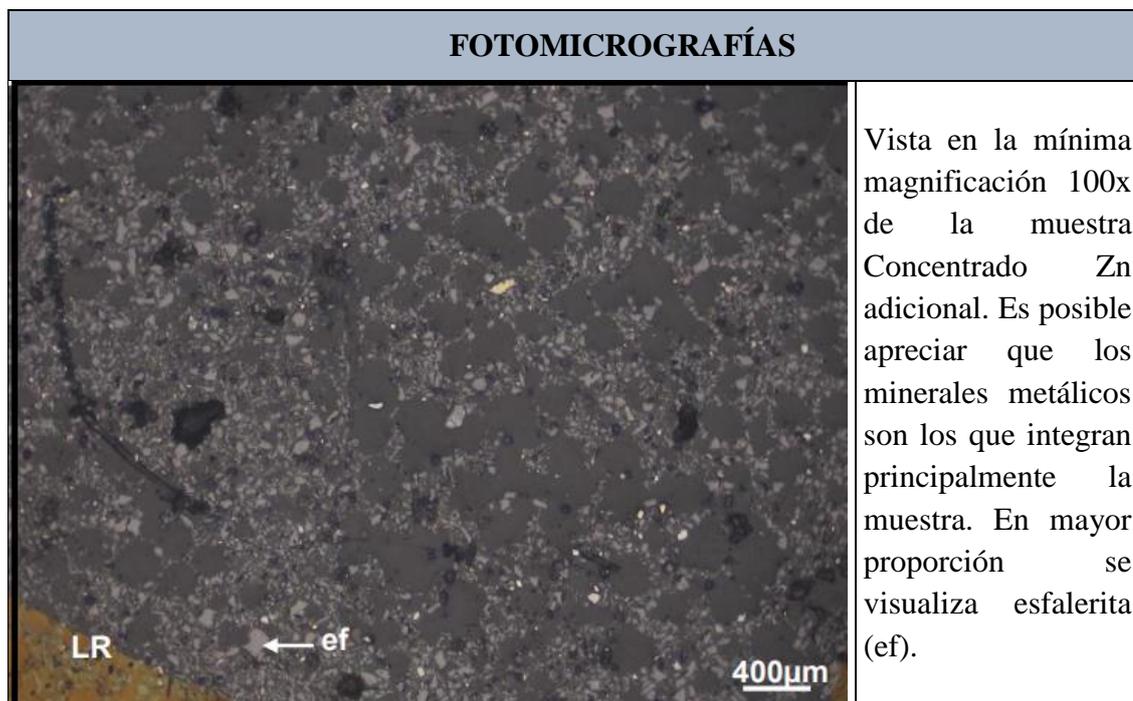
La muestra presenta una alta proporción de minerales metálicos, siendo la esfalerita la que presenta una mayor proporción respecto a este tipo de minerales. El resto de los minerales metálicos se encuentran en proporciones de traza. Los minerales metálicos detectados son:

- Roquesita (CuInS<sub>2</sub>)
- Esfalerita con indio [(Zn,Fe,In)S].
- Galena (PbS).

A continuación, se presenta en la Tabla 15 la fotomicrografía más representativa correspondiente a lo observado en los estudios realizados con microscopía electrónica de barrido, asimismo en la Tabla 16 se presenta la distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra “Concentrado Zn”.

**Tabla 15.**

*Fotomicrografía de la muestra de Concentrado de Zn – MEB.*



*Nota:* Tabla elaborada en el informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Tabla 16.**

*Distribución elemental de los minerales portadores identificados en la muestra “Concentrado Zn”.*

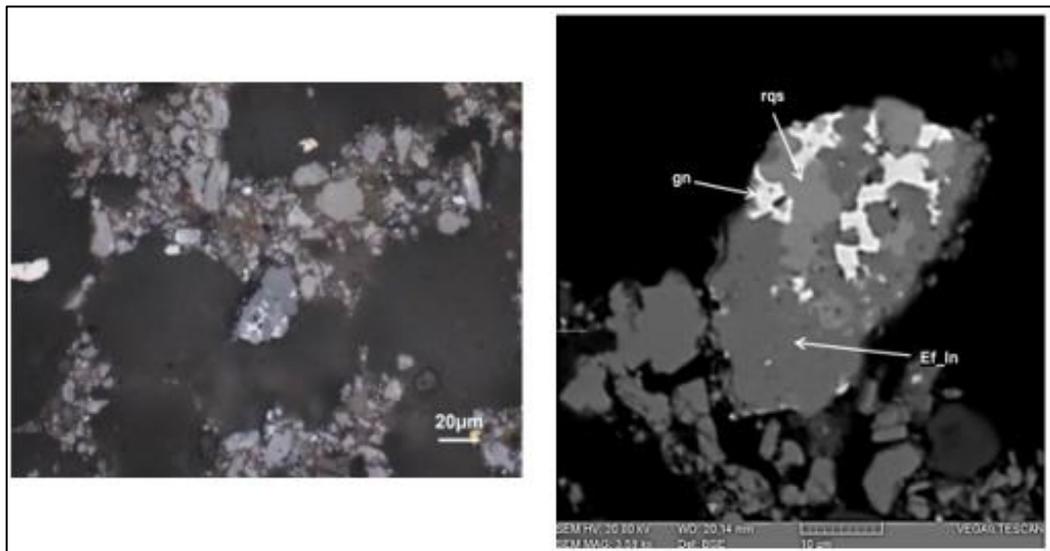
Minerales	Composición química (%)						TOTAL
	Fe	In	Pb	Zn	Cu		
Roquesita		44.79		2.85	25.36	27.01	100
Esfalerita_In	64.59	2.22				33.19	100
Galena			86.5			13.53	100

*Nota:* Tabla elaborada en el informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

A continuación, se muestran algunas imágenes con las fases minerales analizadas:

**Figura N°32.**

Aumento 3590x. Intercrecimiento de esfalerita con indio (ef\_In), galena (gn) y roquesita (rqs).



*Nota:* Imagen tomada del informe elaborado por el laboratorio BIZALAB.

**Análisis del Grado de liberación**

A continuación, se presenta en la Tabla 17 el análisis del grado de liberación de las especies minerales presentes en la muestra del concentrado de Zn Malla 400 en el área de flotación.

Se observa que más del 92% presenta partículas libres de esfalerita (ef) con un alto grado de liberación del 99.69%, que contribuye a la calidad del concentrado de Zn. Presencia de partículas mixtas dentro de las cuales resaltan los intercrecimientos laterales de esfalerita – ganga con un 3.87%.

En el grafico N°4, se presenta el diagrama porcentual del grado de liberación de las especies minerales presentes en el concentrado de Zn. La

figura 18 presenta la relación de intercrecimientos y asociaciones de las partículas mixtas y la gráfica N°6 representa la relación volumen - peso de las partículas.

**Tabla 17.**

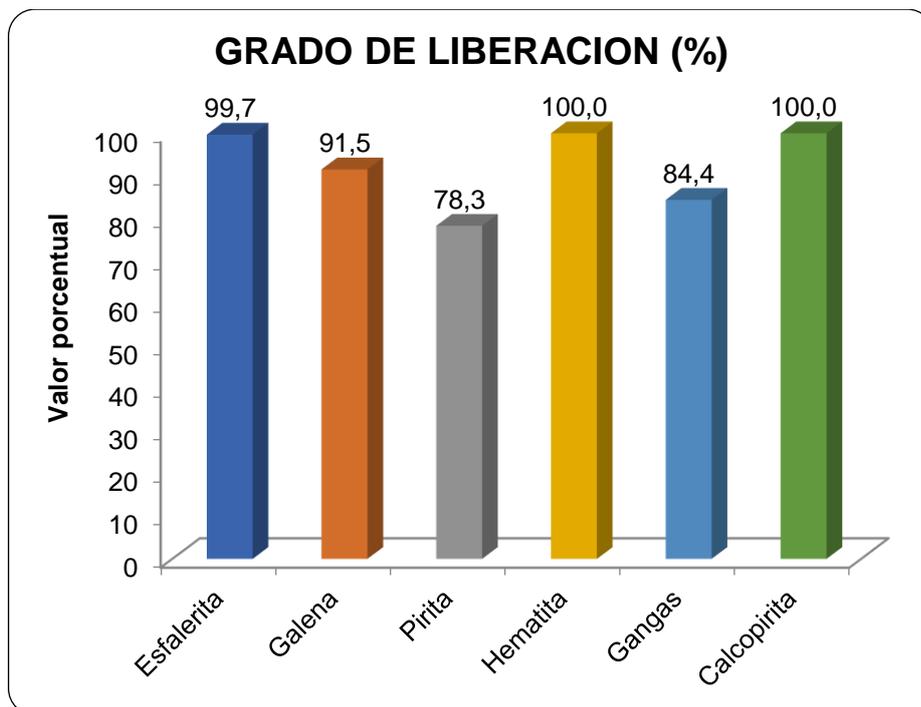
*Análisis del grado de liberación*

Partículas Libres		No. Part.	%Vol	Grado de Liberación	ef		gn			py			hm			GGs			cp		
Esfalerita		5260	92.44	99.69	92.44	100.00	9244.29														
Galena		160	2.81	91.53				2.81	100.00	281.20											
Pirita		2	0.04	78.29							0.04	100.00	3.51								
Hematita		1	0.02	100.00										0.02	100.00	1.76					
Gangas		3	0.05	84.38													0.05	100.00	5.27		
Calcopirita		2	0.04	100.00															0.04	100.00	3.51
Parcial		5428	95.40		92.44			2.81			0.04			0.02			0.05			0.04	
Partículas Mixtas					ef		gn			py			hm			GGs			cp		
ef/gn		220	3.87		0.56	52.96	29.66	0.31	16.63	5.16			0.00			0.00			0.00	0.00	
gn/GGs		18	0.32				0.00	0.03	72.00	2.16			0.00			0.00	0.01	2.00	0.02	0.00	
ef/GGs		12	0.21		0.03	81.00	2.43			0.00			0.00			0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
ef/py		10	0.18		0.04	72.00	2.88			0.00	0.01	2.00	0.02			0.00			0.00	0.00	
ef/hm		2	0.04		0.02	81.00	1.62			0.00			0.00	0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	
							9280.88			288.51			3.53			1.76			5.29	3.51	
Total		5690	100.00																		
%Volumen Total					93.09			3.15			0.05			0.02			0.06			0.04	
Peso Especifico					3.9			7.5			5.01			4.94			4.65			4.19	
%Peso					93.7			6.1			0.06			0.02			0.08			0.04	
<b>Grado de Liberación</b>					<b>99.69</b>			<b>91.53</b>			<b>78.29</b>			<b>100</b>			<b>84.38</b>			<b>100</b>	

Nota: Tabla tomada de SMEB.

**Gráfico N°4.**

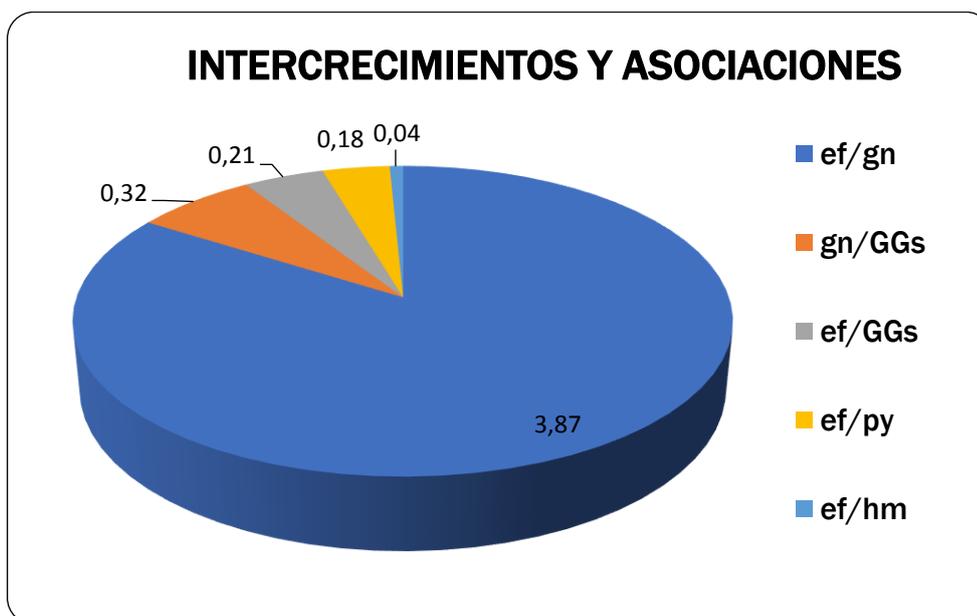
*Grado de Liberación de las especies - Concentrado de Zn.*



*Nota: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 5.**

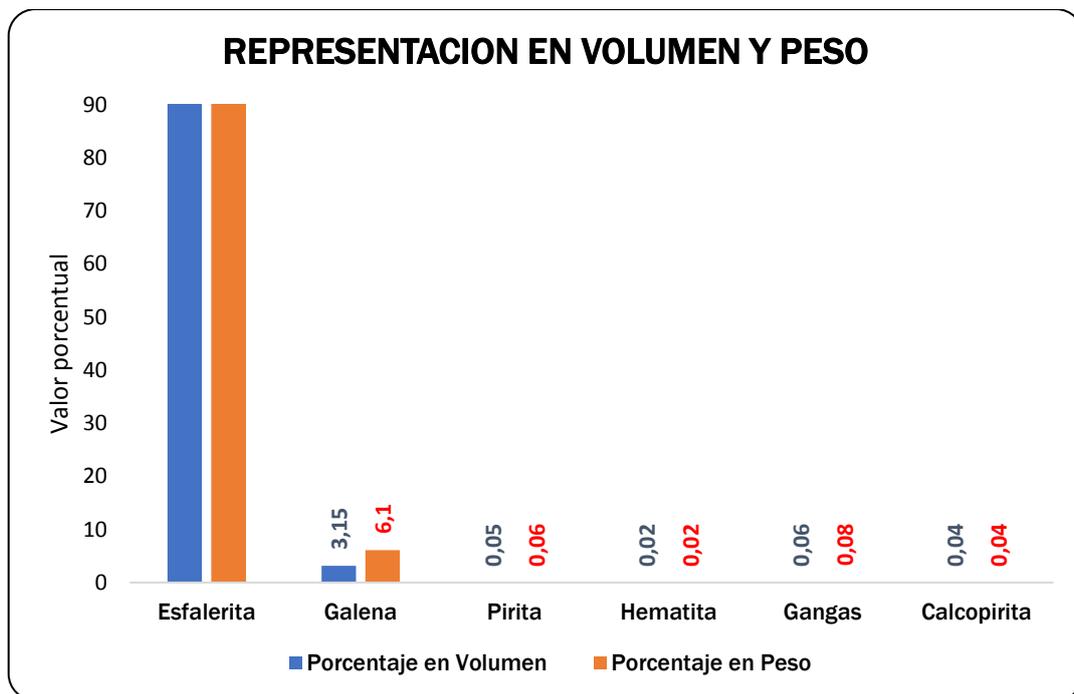
*Intercrecimientos y Asociaciones - Concentrado de Zn.*



*Nota: Elaboración Propia.*

### Gráfico N° 6.

Representación de Volumen y Peso - Concentrado de Zn.



Nota: Elaboración Propia.

#### 4.3. Prueba de Hipótesis

##### Hipótesis general

**Hipótesis Alternativa (H1):** Si los resultados de análisis mineralógico realizados a los concentrados de Pb y Zn de Sociedad Minera El Brocal S. A. A. demuestran la influencia de los diferentes mecanismos se podrá optimizar la recuperación de Pb-Zn.

**Hipótesis Nula (H0):** Si los resultados de análisis mineralógico realizados a los concentrados de Pb y Zn de Sociedad Minera El Brocal S. A. A. no demuestran la influencia de los diferentes mecanismos no se podrá optimizar la recuperación de Pb-Zn.

Para validar la hipótesis general se utiliza el análisis estadístico de ANOVA debido a que se tiene tres resultados anteriores a este análisis. De acuerdo al análisis de ANOVA se tiene:

**Tabla 18.**

*Resultados de análisis microscópico de grados de libertad del año 2018.*

Mineral	Sulfuro	Unidad	Cantidad	Resultado
Esfalerita	Zinc	Kg	1	98.87
Galena	Plomo	Kg	1	98.94

*Nota:* Elaboración Propia.

**Tabla 19.**

*Resultados de análisis microscópico de grados de libertad del año 2019.*

Mineral	Sulfuro	Unidad	Cantidad	Resultado
Esfalerita	Zinc	Kg	1	98.94
Galena	Plomo	Kg	1	99.04

*Nota:* Elaboración Propia.

**Tabla 20.**

*Resultados de análisis microscópico de grados de libertad del año 2019.*

Mineral	Sulfuro	Unidad	Cantidad	Resultado
Esfalerita	Zinc	Kg	1	99.69
Galena	Plomo	Kg	1	99.89

*Nota:* Elaboración Propia.

**Tabla 21.**

*Análisis de varianza (ANOVA).*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	0.95363333	2	0.47681667	52.1111111
Dentro de las muestras	0.02745	3	0.00915	
Total	0.98108333	5		
Valor Critico Para F	9.5520945			
p-valor	0.0046801			

*Nota:* Elaboración Propia.

**Hipótesis general alternativa (H1):** Para p-valor mayor a 0.005 se admite que los resultados son aceptables, tal como se encuentra de 0,0046801 equivalente a 0,005 por lo que podemos aceptar la Hipótesis general alternativa (H1) de realizar la categorización mineralógica, la cual favorecerá la recuperación del Plomo y Zinc.

**Hipótesis general nula (H0):** Se obtiene un p-valor mayor a 0,005 por lo que se acepta la hipótesis nula de que si no se realizan el análisis mineralógico a los concentrados de Pb y Zn de Sociedad Minera El Brocal S. A. A. no se podrán demostrar la influencia de los resultados en la determinación de los diferentes mecanismos para optimizar la recuperación de Pb y Zn.

#### **Hipótesis específica**

**Hipótesis Específicas Alternativas (H1):** Si identificamos las características mineralógicas de los concentrados de Pb y Zn entonces podemos demostrar la influencia de estos datos para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.

**Hipótesis Específicos Nulas (H0):** Si identificamos las características mineralógicas de los concentrados de Pb y Zn entonces no podemos demostrar la influencia de estos datos para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.

Como los p-valor es igual a 0.005 también se acepta la Hipótesis específica de que se tiene identificar las características mineralógicas y se rechaza la hipótesis nula (H0).

**Hipótesis Específicos Alternativas (H1):** Si determinamos el grado de liberación de los minerales en los concentrados de Pb y Zn entonces podemos demostrar la influencia de esta información para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.

**Hipótesis Específicos nulas (H0):** Si determinamos el grado de liberación de los minerales en los concentrados de Pb y Zn entonces no podemos demostrar la influencia de esta información para optimizar su recuperación, en Sociedad Minera El Brocal S. A. A.

Como los p-valor es igual a 0.005 también se acepta la Hipótesis específica alternativa de determinar el grado de liberación y se rechaza la hipótesis nula (H0).

#### **4.4. Discusión de resultados**

De acuerdo, los estudios realizados por (Montalvo, 2019) en su Tesis, “Efecto del danafloat 096 en el tratamiento de minerales polimetálicos para la recuperación de plomo experimentalmente realizado en el centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales –2019” llega a la siguiente conclusión , el resultado que el grado de concentración mejora con D-096, a un más con MT-3682 mejora la recuperación del zinc, el colector D-096 tiene un efecto positivo

en la calidad y recuperación del plomo y plata, pero no afecta al zinc en su recuperación, el rango de calidad para el plomo para que sea mayor a 55% cuando D-096..., por lo que en mi investigación afirma que se tiene un grado de liberación del plomo de 63% del plomo, aceptable para mejorar el grado de liberación.

Ramos, (2017) en su Tesis de grado, acerca la “Caracterización y evaluación de pruebas metalúrgicas de flotación de un mineral complejo polimetálico del distrito de Palca – Huancavelica” llega a la siguiente conclusión: Los resultados de la prueba de flotación en ciclo cerrado, aplicando las mejores condiciones de operación, indican recuperaciones 86.12% de plomo, 66.19% cobre, ... En el Circuito zinc la recuperación final fue de 87.59 % con leyes de 55.80% de zinc. Los resultados analizados en el trabajo de investigación presentan cierta similitud siendo nuestros datos de 69% de recuperación del Zinc.

De acuerdo a los resultados de los estudios realizados en la presente investigación aplicada a la caracterización mineralógica, grado de liberación se pudo confirmar la hipótesis general y específica para optimizar la recuperación de Pb y Zn.

Los resultados de la investigación nos permitieron conocer las siguientes características de los concentrados en estudio:

- Identificación de los minerales no metálicos y metálicos.
- Tamaño de granos
- Asociaciones Mineralógicas (relación entre minerales)
- Intercrecimientos
- Tipo de texturas
- Grado de Liberación

## CONCLUSIONES

- El análisis realizado para la caracterización del plomo, mediante la difracción de rayos X al concentrado de plomo, reportó presencia de galena, siderita, esfalerita, pirita, cuarzo, anglesita, hematita y marcasita con una recuperación de (63%)
- El análisis realizado para la caracterización del zinc, mediante la difracción de rayos X al concentrado de zinc, reportó presencia de esfalerita, siderita, cuarzo, anglesita, galena, pirita y marcasita con una recuperación de 69%.
- El análisis realizado mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido para el concentrado de plomo y zinc, mostró un alto desplazamiento de galena y esfalerita.
- La evaluación mineralógica de las muestras pertenecientes al circuito de zinc presenta una concentración adecuada de la esfalerita a través de las celdas de flotación, siendo consistente con los análisis químicos. Tanto la esfalerita y galena se encuentran en un tamaño inferior a los 76 micrones.
- Se tiene presencia de partículas libres de galena (gn) 99.89 % que contribuye a la calidad del concentrado. Presencia de partículas libres de pirita que probablemente no fueron controlados en la flotación. Presencia de una cantidad de partículas libres de minerales de cobre como la calcopirita (cp) lo cual aporta iones de cobre a la pulpa.
- Las principales asociaciones de la galena son con la esfalerita y pirita, estando principalmente de manera lateral en las muestras evaluadas.
- Los análisis de liberación y asociaciones de la esfalerita en el circuito evidencian un alto 99.69 % de esfaleritas libres, presentando grados de

liberación superiores al 90% que favorecen la calidad del concentrado. La principal asociación de la esfalerita en el concentrado Zn que es con pirita y galena. Para el caso de la galena, su principal asociación es con la esfalerita.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda para para la caracterización de minerales (pb-zn) cumplir estrictamente con las metodologías de la difracción de rayos X
- Se recomienda utilizar la microscopía óptica y microscopia electrónica de barrido para el concentrado de plomo (galena) y zinc (esfalerita).
- Se recomienda una evaluación mineralógica en el circuito de zinc para una concentración adecuada del zinc (esfalerita).
- Se recomienda, caracterizar partículas libres de Fe, en la pirita que probablemente no fueron controlados en la flotación, de cobre como la calcopirita (cp) por aportar iones de cobre a la pulpa.
- Se recomienda evaluar los grados de liberación del Pb y Zn para obtener mejores resultados de la galena y la esfalerita.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, G. C. (2019). *Evaluación mineralógica y grado de liberación de los minerales en los concentrados de flotación de Cu, Pb y Zn de la Compañía Minera Volcan. Trujillo.*
- Arreola, E. (2012). *Liberación, caracterización y concentración de un mineral.*
- Cornelis, K. (1996). *Manual de mineralogía Volumen 1.*
- Enrique, G. G. (2015). La mineralogía en el negocio minero metálico. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas UNMSM.*
- Erika Gabriel Tuesta, Y. H. (s.f.). APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) EN. *Buenaventura Ingenieros S.A.*
- Gaudin. (1939). *Concentración de minerales.*
- Janet, Q. (2015). *Microscopía de minerales opacos.*
- Luis A. Espinoza, G. I. (2021). Importancia de la mineralogía en la geometalurgia: aplicación en Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas UNMSM.*
- Maldonado, M. (23 de Agosto de 2020). *Comunidad Geopersa.* Obtenido de Mineralogía aplicada al proceso de Flotación: <https://comunidad.geopersa.com/mineralogia-aplicada-a-procesos-de-flotacion/>
- Mejía Pérez, A. M. (2019). *Microscopía óptica con el criterio grado de liberación como una herramienta importante para la toma de decisiones en procesamiento de minerales, Minera Constancia – Hudbay. Arequipa.*
- Montalvo, N. (2019). *Efecto de danafloat 096 en el tratamiento de minerales polimetálicos para la recuperación de plomo experimentalmente realizando en el centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales.*

- Portilla, R. T. (20 de Agosto de 1995). *La tesis universitaria*. Lima: Mantaro. Obtenido de <https://es.slideshare.net/erikaoliva1/manual-para-elaboracion-de-tesis-y-trabajos-de-investigacion-36638807>
- Ramdohr, P. (2013). *The ore minerals and their intergrowths*.
- Ramos, J. C. (2017). *Caracterización y evaluación de pruebas metalúrgicas de flotación de un mineral complejo polimetálico del distrito de Palca - Huancavelica*.
- Ricra Luis, A. E. (2019). “*Análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón – Pasco - 2019*”. Pasco.
- Tamayo. (1997). *Muestras y población para inicio de la investigación*.
- Torres, L. F. (2015). *Caracterización mineralógica del proceso metalúrgico y su impacto en la producción de concentrados de Cu y Mo en CMDIC*.
- UDLAP, B. (15 de Octubre de 2014). *¿Cómo estructurar una tesis?* Obtenido de <https://blog.udlap.mx/blog/2014/10/como-estructurar-una-tesis/>
- USMP. (20 de Enero de 2017). *Manual para la elaboración de las tesis y los trabajos de investigación*.

## **ANEXOS**

**INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE  
DATOS.**

Check list de reporte de leyes de concentrados de Pb/Zn Planta concentradora N°2

	REGISTRO DE ENTREGA DE REPORTE DE CONCENTRADOS PLANTA CONCENTRADORA N°2 - LABORATORIO			
	METALURGICO			
	E-COR-SIB-01.01-F01		V-02	

ESTAPAS DE	RCS - 70								
FLOTACION	rougher 1	rougher 2	rougher 3	rougher 4	rougher 5	rougher 6	rougher 7	rougher 8	rougher 9
tonelaje	12383	12131	11840	11597	11385	11186	10975	10669	10525
densidad	1.31	1.28	1.27	1.27	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
G. E. solidos	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15

FLUJO/ PUNTO	Ley % Zn	Ag oz/TM	Ley %Pb	Ley %Fe
concentrado rougher (RCS - 70 -#1)	45.22	4.77	2.63	8.59
concentrado rougher (RCS - 70 -#2)	36.95	5.38	3.11	11.52
concentrado rougher (RCS - 70 -#3)	31.40	4.66	5.36	14.64
concentrado rougher (RCS - 70 -#4)	25.00	4.37	3.91	17.12
concentrado rougher (RCS - 70 -#5)	18.68	3.63	3.40	20.35
concentrado scavenger (RSC - 70 -#6)	16.83	4.23	3.13	21.97
concentrado scavenger (RSC - 70 -#7)	11.73	4.16	2.96	24.69
concentrado scavenger (RSC - 70 -#8)	9.21	3.82	2.51	25.44
concentrado scavenger (RSC - 70 -#9)	9.21	3.82	2.51	25.44
concentrado cleaner I (DR - 300)	39.30	5.12	4.89	11.54
concentrado cleaner scv. (DR - 300)	30.56	4.95	5.50	14.75
concentrado cleaner II (DR (DR - 300)	41.86	5.29	4.95	5.50
concentrado cleaner III (DR (DR - 300)	48.00	5.52	3.85	7.11
concentrado cleaner IV (DR (DR - 100)	50.38	5.79	3.51	5.99
relave cleaner IV (DR - 100)	43.60	5.03	4.39	9.17
relave cleaner III (DR - 300)	37.98	5.07	4.99	9.60
relave cleaner II (DR - 300)	36.31	4.94	5.24	13.04
relave cleaner I (DR - 300)	24.19	4.45	4.05	17.82
relave cleaner scv. (DR - 300)	19.86	4.11	3.06	19.90
relave rougher (RCS - 70 -#1)	4.45	0.88	0.69	16.99
relave rougher (RCS - 70 -#2)	3.07	0.77	0.63	16.99
relave rougher (RCS - 70 -#3)	3.07	0.68	0.57	17.04
relave rougher (RCS - 70 -#4)	2.66	0.62	0.52	17.04
relave rougher (RCS - 70 -#5)	2.20	0.55	0.47	17.03
relave scavenger (RSC - 70 -#6)	1.81	0.46	0.38	16.99
relave scavenger (RSC - 70 -#7)	1.52	0.39	0.32	16.84
relave scavenger (RSC - 70 -#8)	1.38	0.33	0.29	16.73
relave scavenger (RSC - 70 -#9)	1.26	0.28	0.25	16.60
cabeza general	3.09	0.48	0.38	16.21

**ESPECTROS DE LOS ANÁLISIS  
REALIZADOS EN MICROSCOPIA  
ELECTRÓNICA PARA LA MUESTRA  
“CONCENTRADO PB”.**

Figura 1. Imagen, composición y espectro de idaita con plata (Imagen 1).

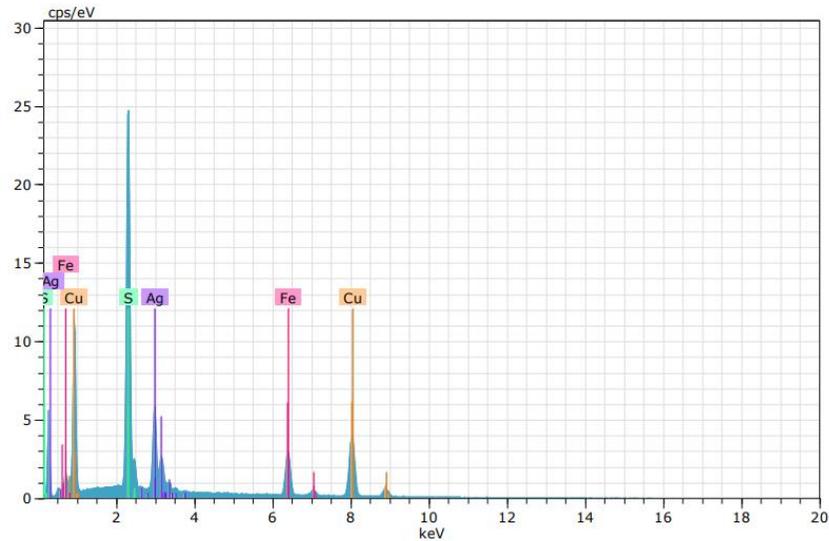
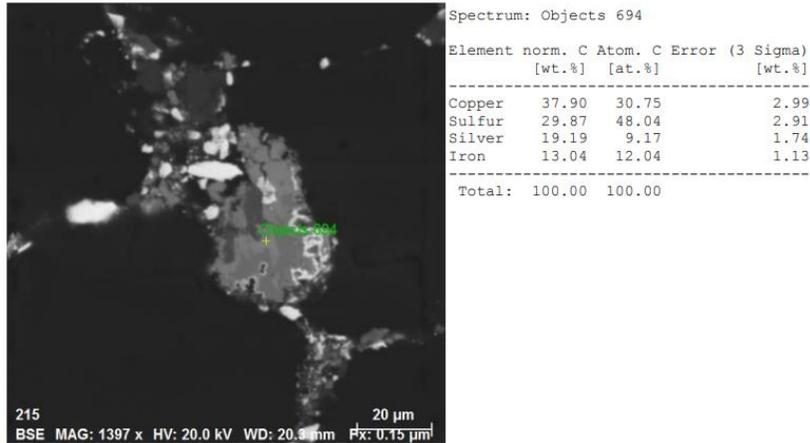


Figura 2. Imagen, composición y espectro de idaita con plata (Imagen 1).

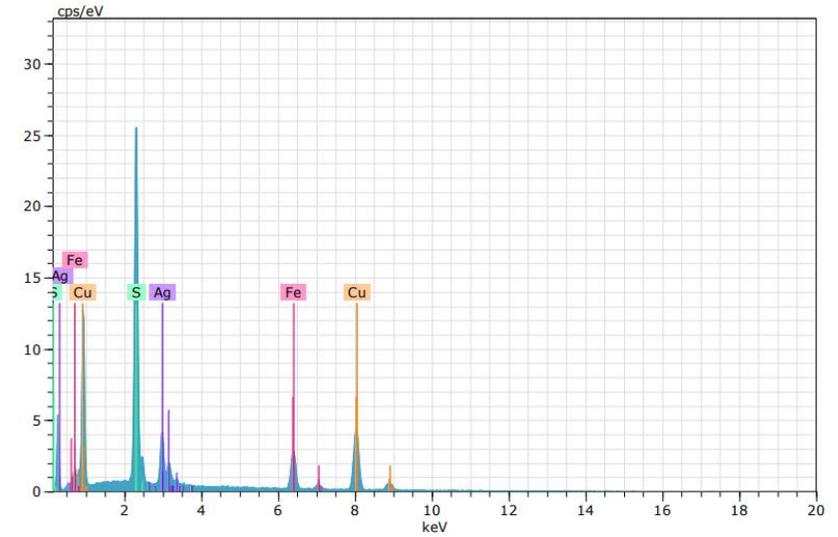
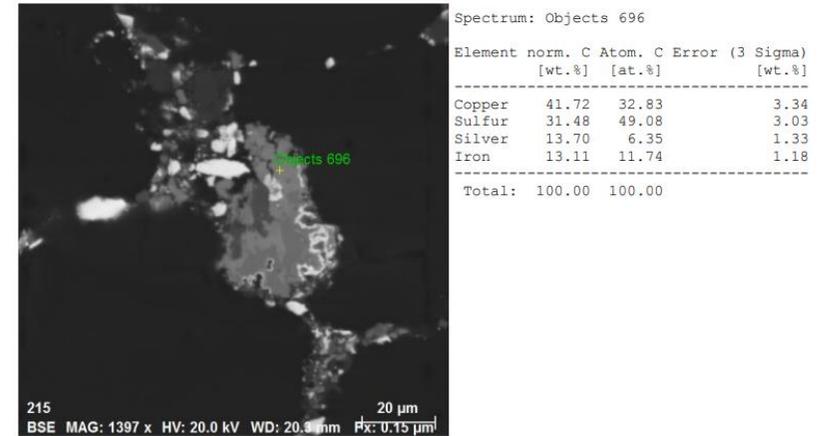


Figura 3. Imagen, composición y espectro de calcopirita (Imagen 1).

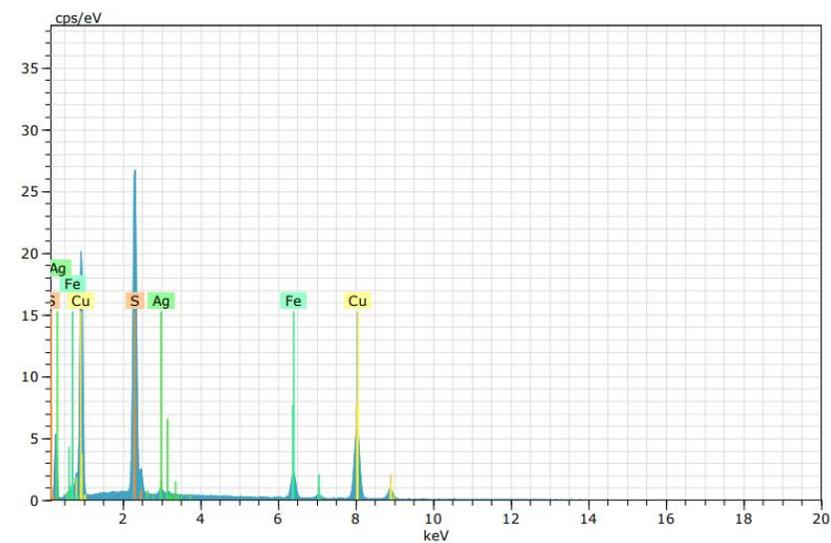
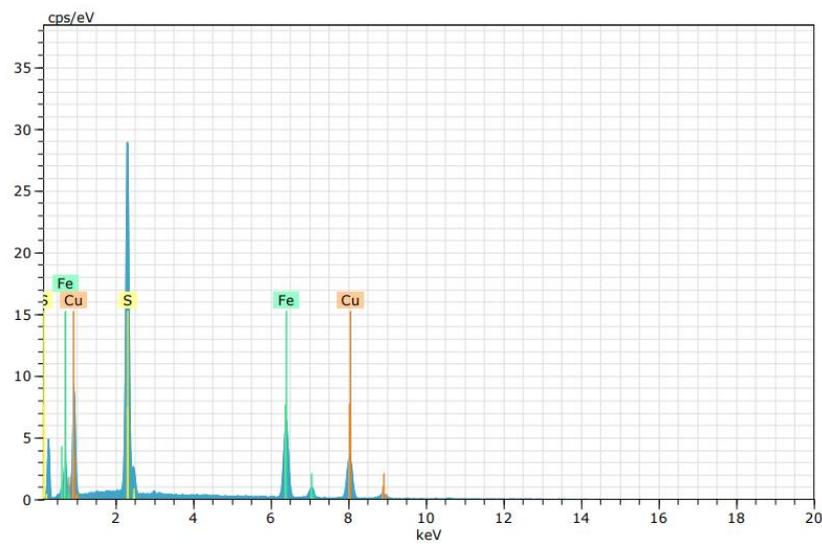
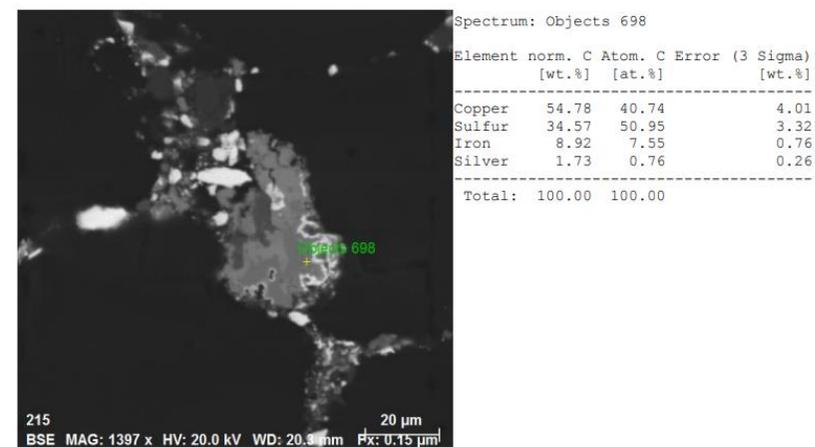
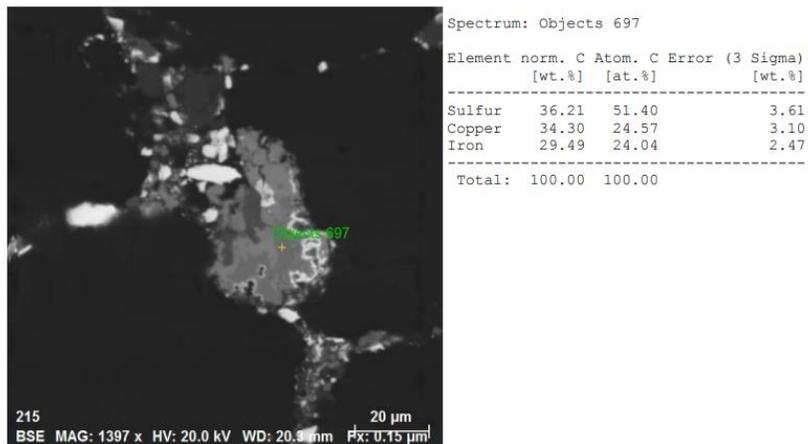


Figura 4. Imagen, composición y espectro de covelita con hierro y plata (Imagen 1).

Figura 5. Imagen, composición y espectro de covelita argentífera (Imagen 1).

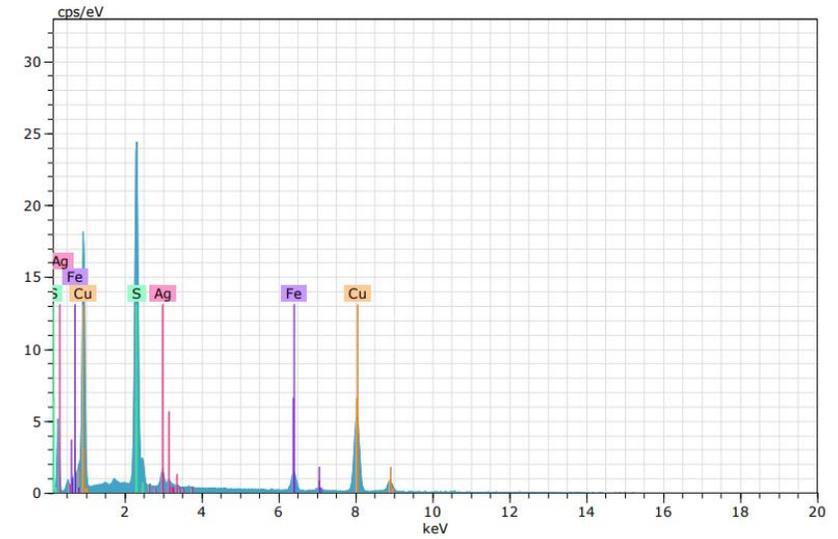
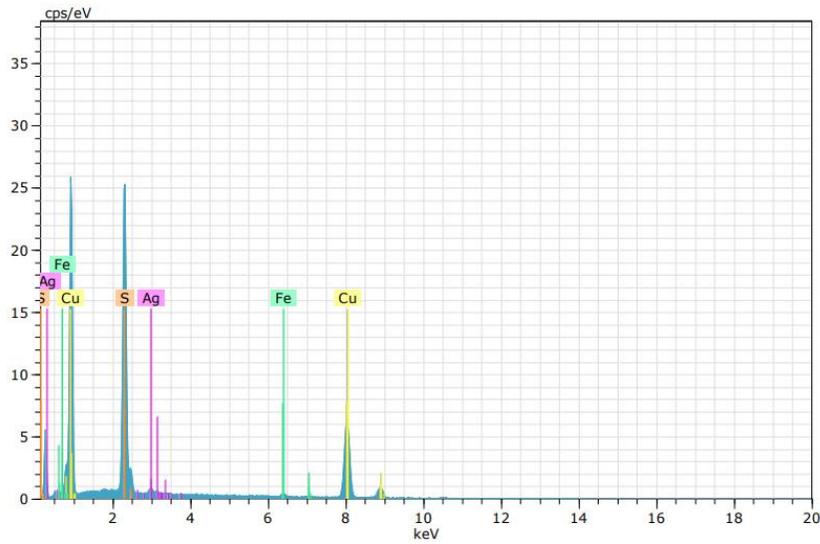
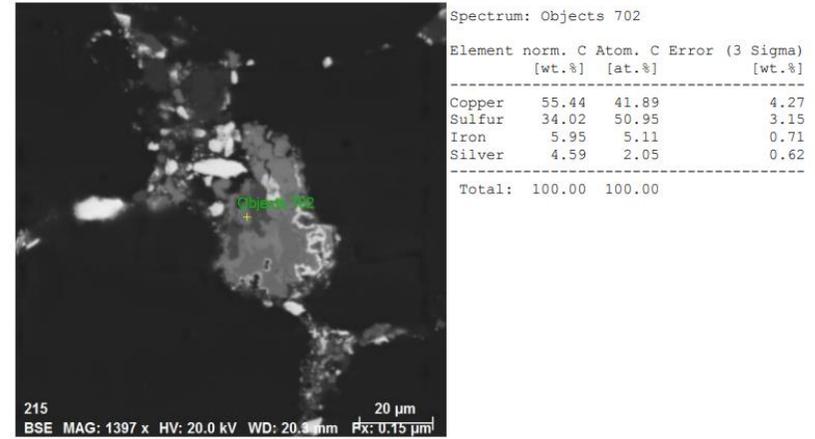
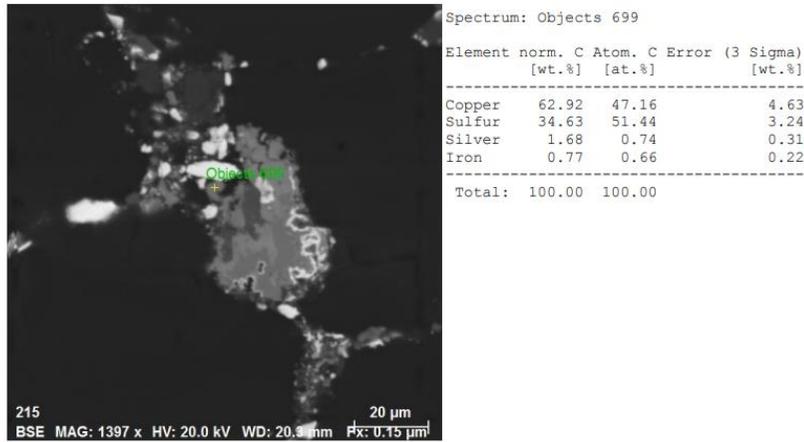


Figura 6. Imagen, composición y espectro de covelita argentífera (Imagen 1).

Figura 7. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 1).

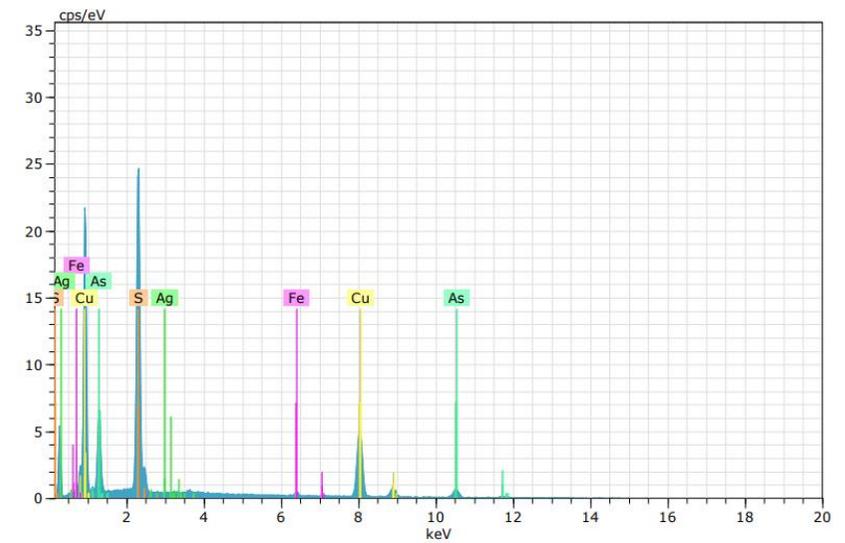
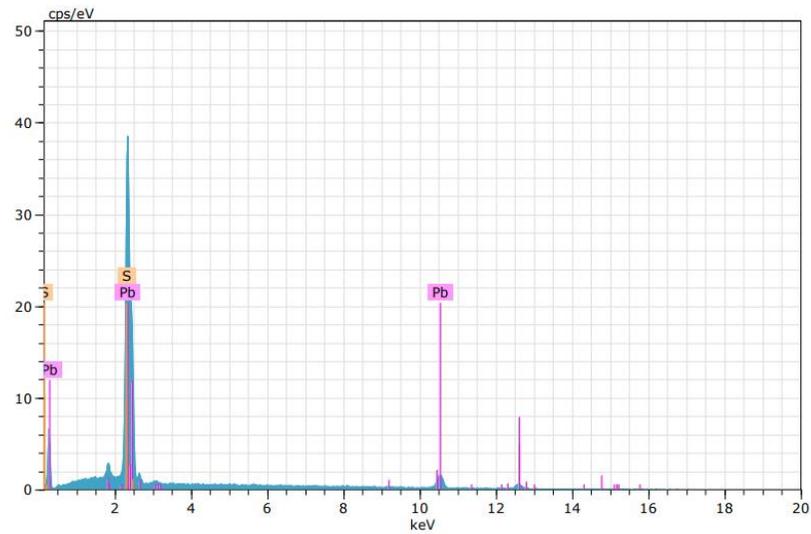
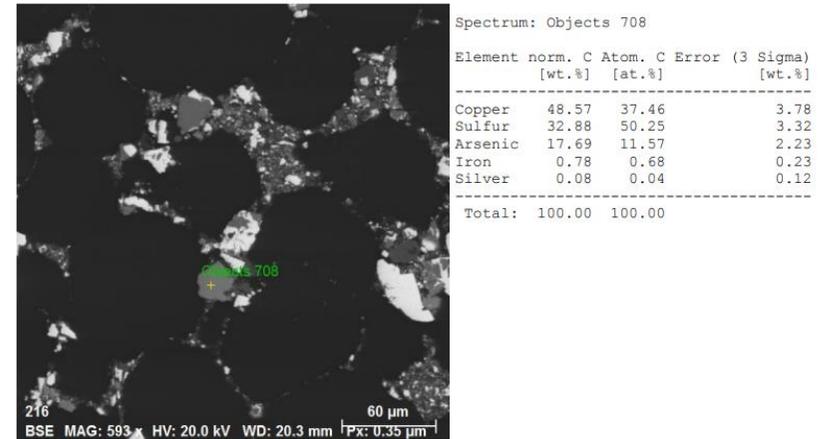
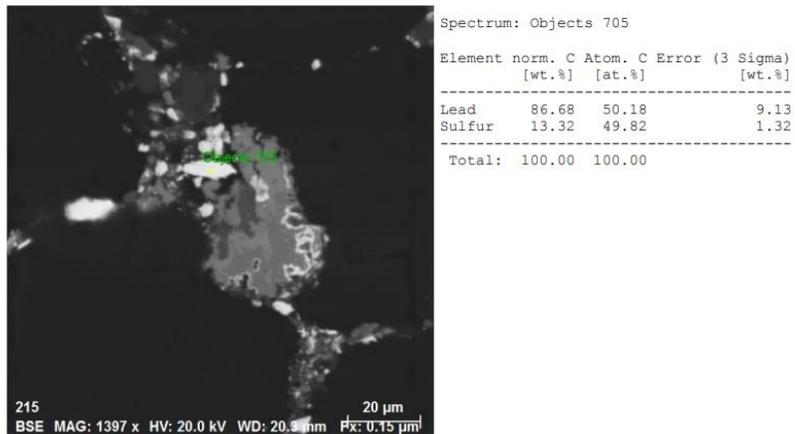
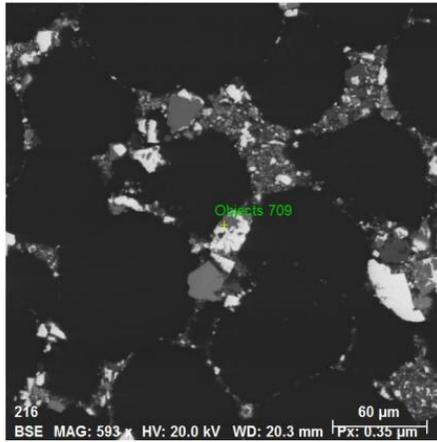


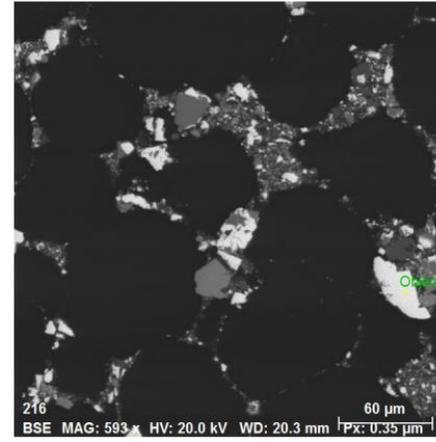
Figura 8. Imagen, composición y espectro de enargita con plata por debajo del límite de detección (Imagen 2).

Figura 9. Imagen, composición y espectro de pirita (Imagen 2).



Spectrum: Objects 709

Element	norm. C Atom. C Error (3 Sigma)		[wt.%]
	[wt.%]	[at.%]	
Sulfur	53.11	66.36	5.14
Iron	46.89	33.64	3.73
Total:		100.00	100.00



Spectrum: Objects 710

Element	norm. C Atom. C Error (3 Sigma)		[wt.%]
	[wt.%]	[at.%]	
Lead	86.62	50.05	9.03
Sulfur	13.38	49.95	1.31
Total:		100.00	100.00

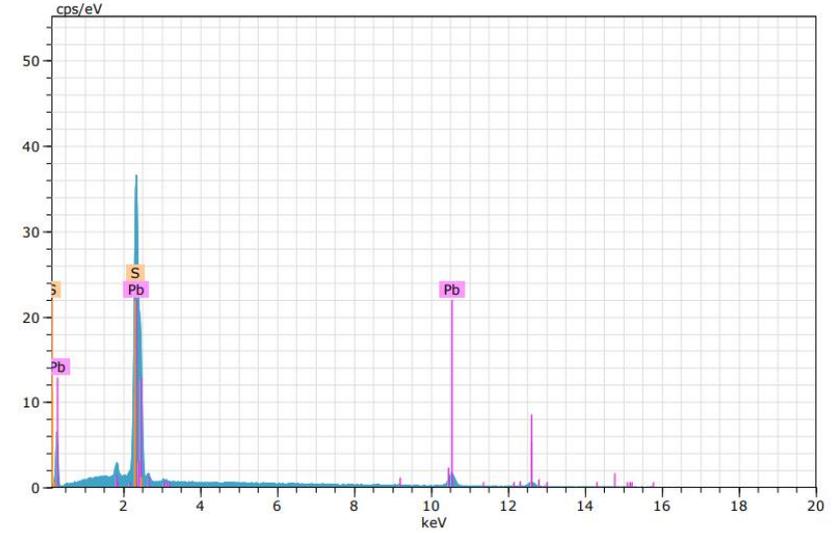
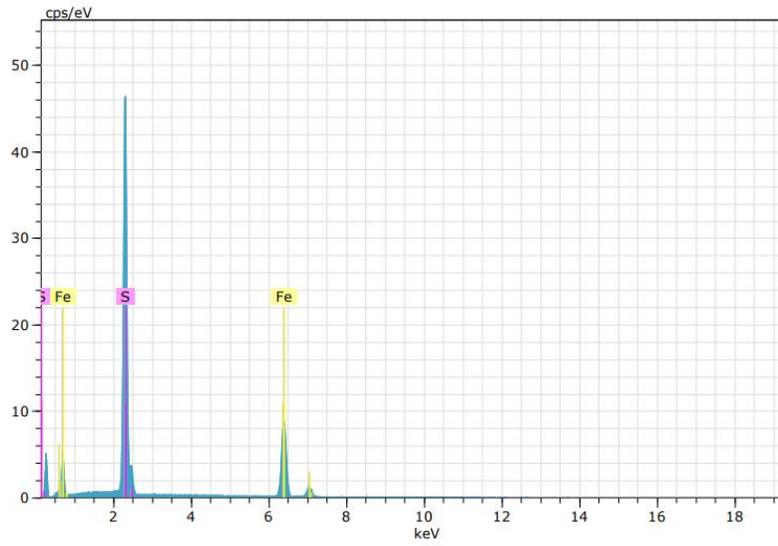


Figura 10. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 2).

Figura 11. Imagen, composición y espectro de enargita con plata (Imagen 3).

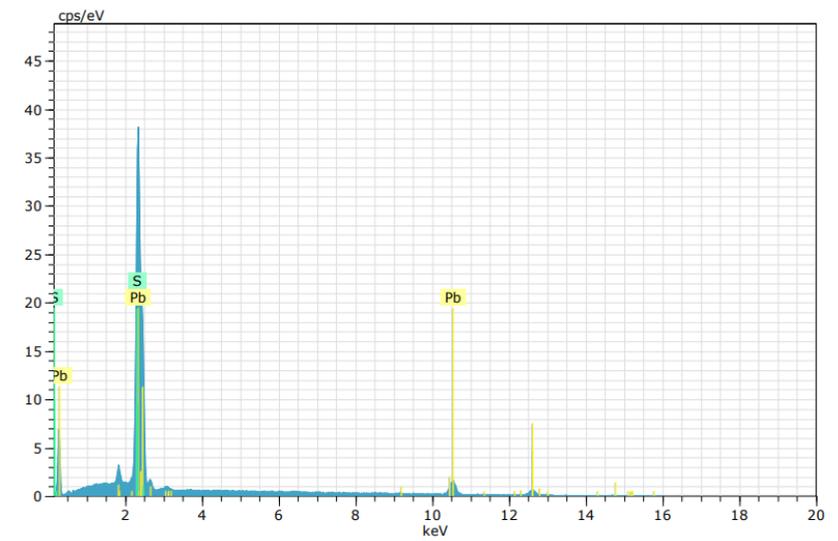
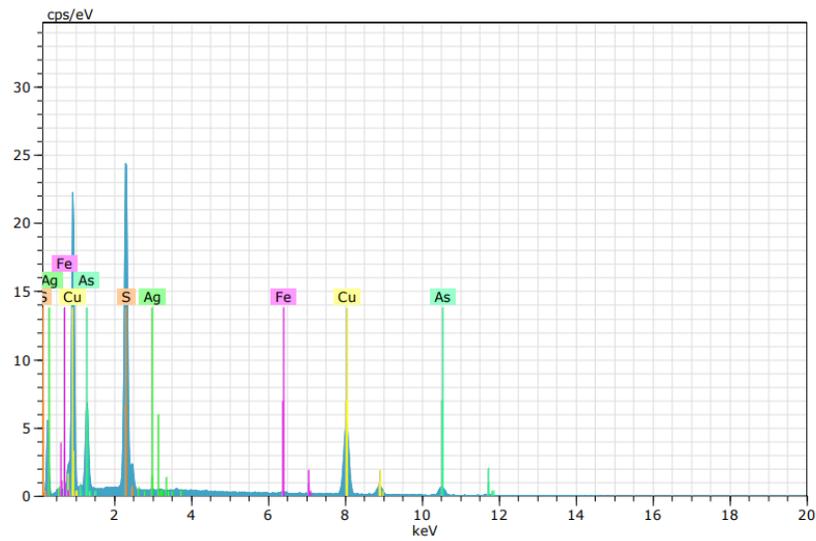
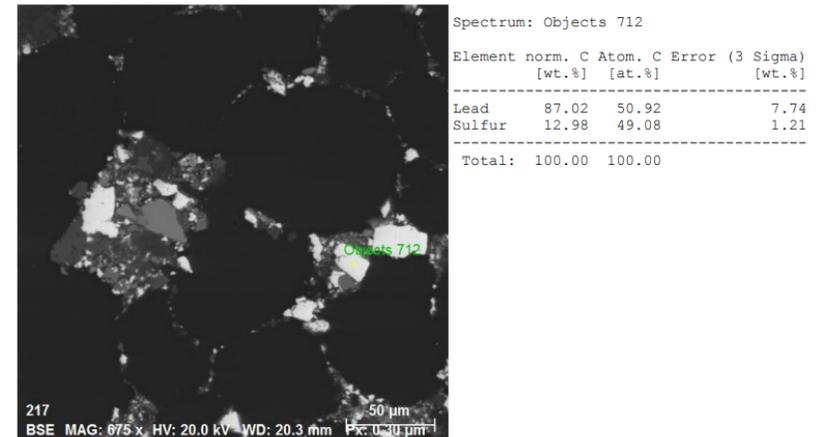
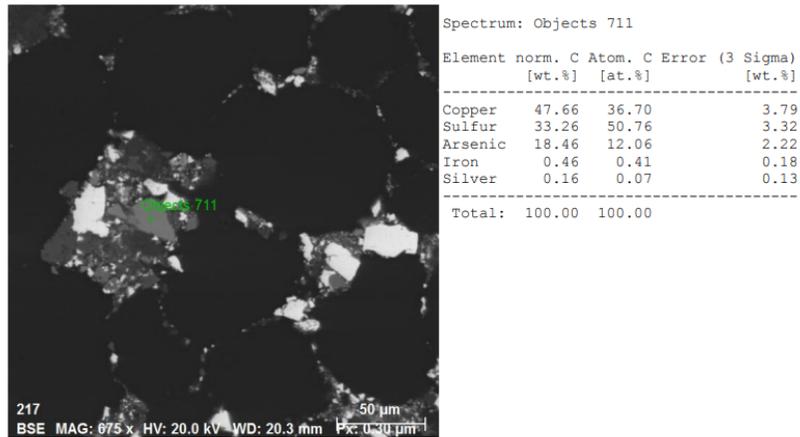
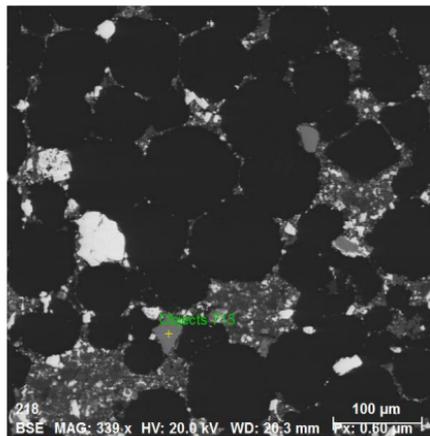


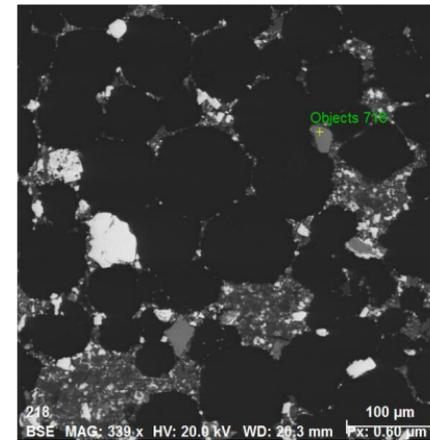
Figura 12. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 3).

Figura 13. Imagen, composición y espectro de enargita con plata por debajo del límite de detección (Imagen 4).



Spectrum: Objects 713

Element	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	47.52	36.83	3.84
Sulfur	32.57	50.02	3.38
Arsenic	19.59	12.88	2.18
Iron	0.30	0.26	0.16
Silver	0.02	0.01	0.10
Total:	100.00	100.00	



Spectrum: Objects 716

Element	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	48.29	37.14	3.61
Sulfur	33.35	50.84	3.26
Arsenic	18.08	11.79	1.76
Silver	0.04	0.02	0.09
Iron	0.24	0.21	0.12
Total:	100.00	100.00	

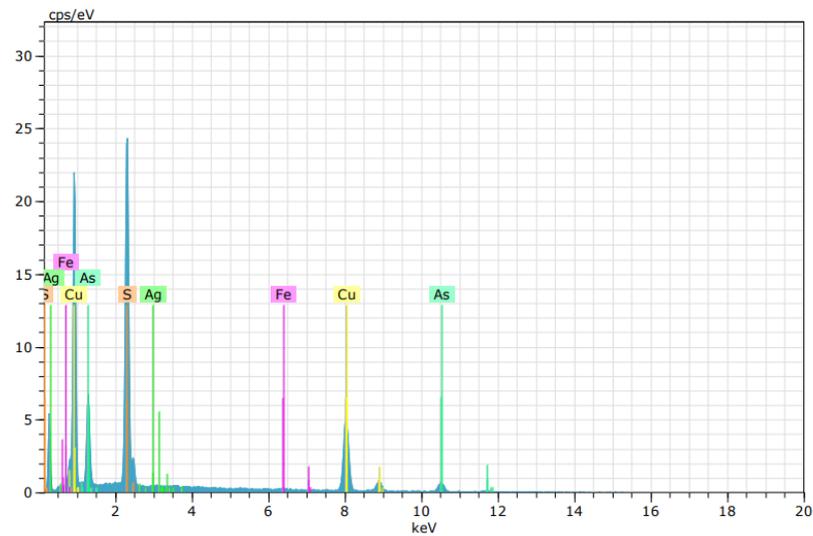


Figura 14. Imagen, composición y espectro de enargita con plata por debajo del límite de detección (Imagen 4).

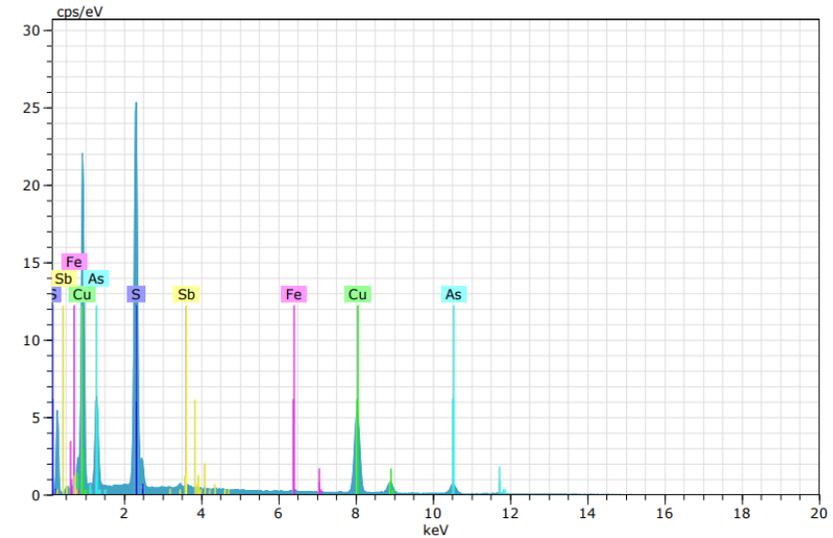


Figura 15. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 4).

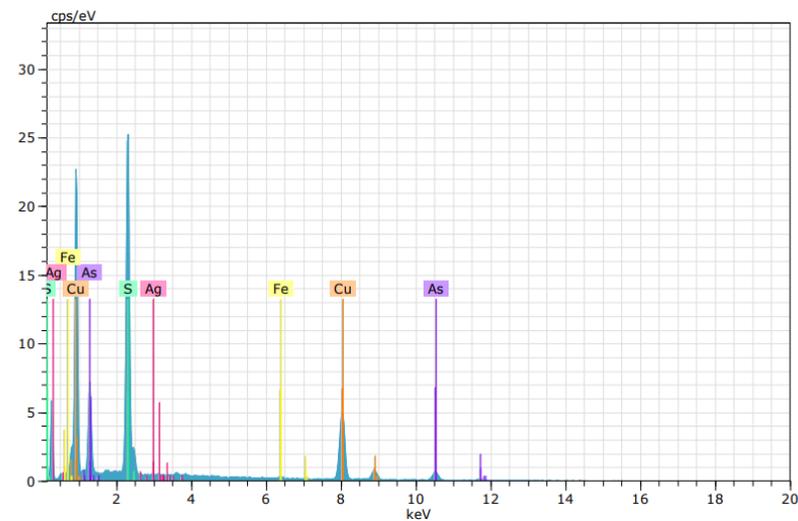
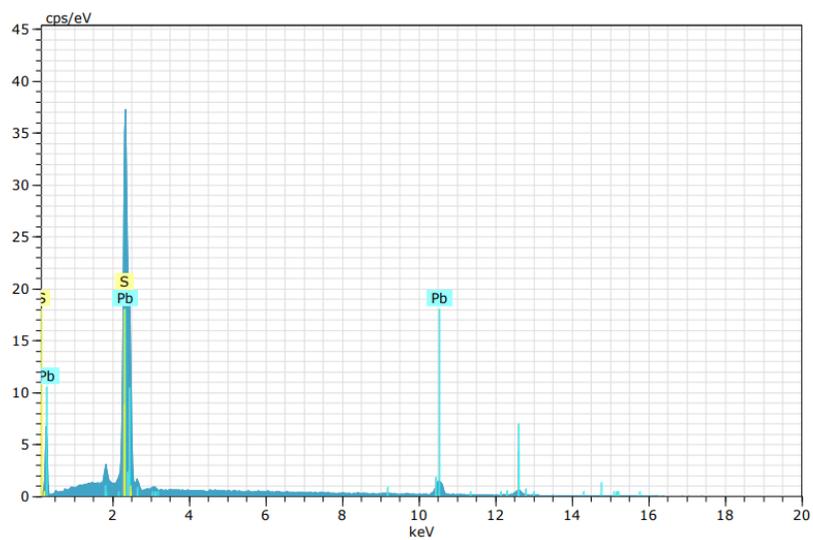
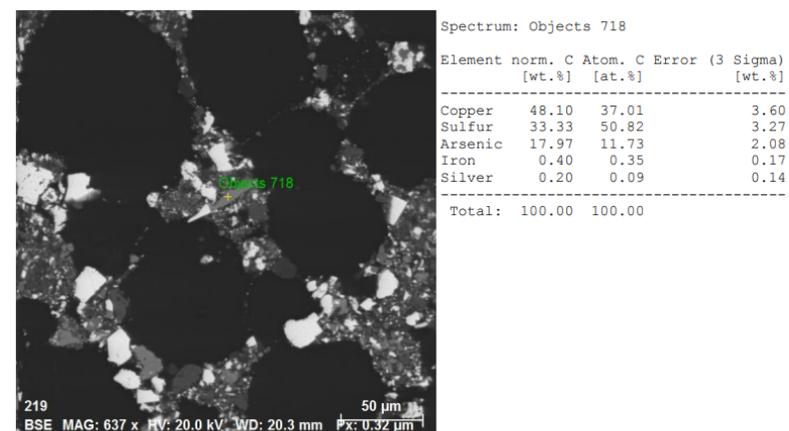
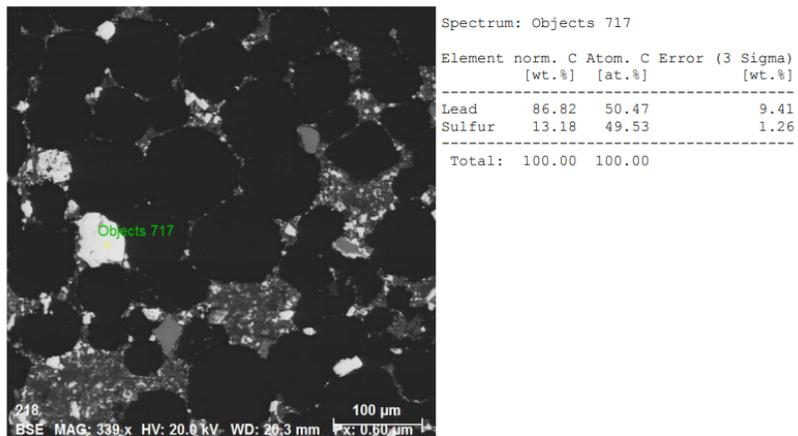
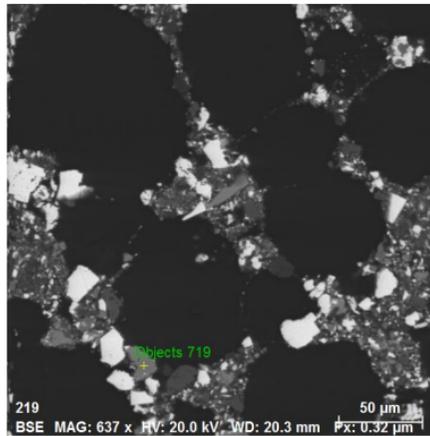


Figura 16. Imagen, composición y espectro de enargita con plata (Imagen 5).

Figura 17. Imagen, composición y espectro de esfalerita (Imagen 5).



Spectrum: Objects 719

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Zinc	66.26	49.28	4.76
Sulfur	33.03	50.10	3.27
Iron	0.71	0.62	0.19
Total:		100.00	100.00

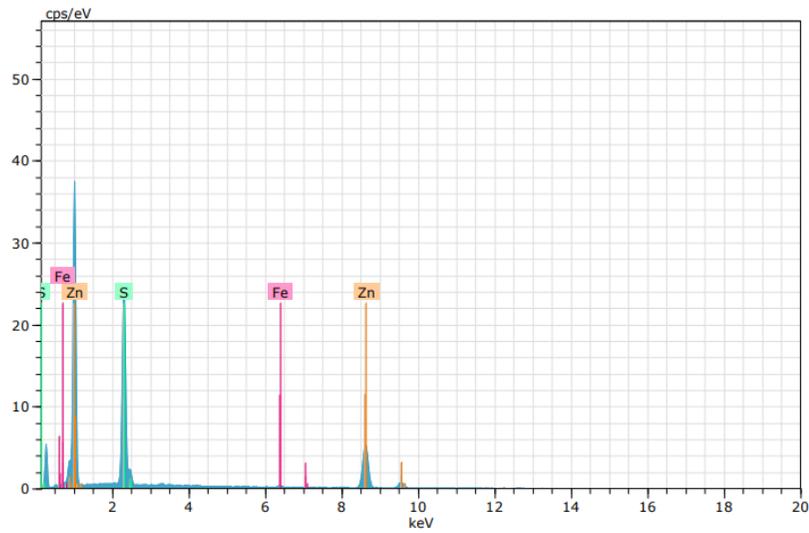
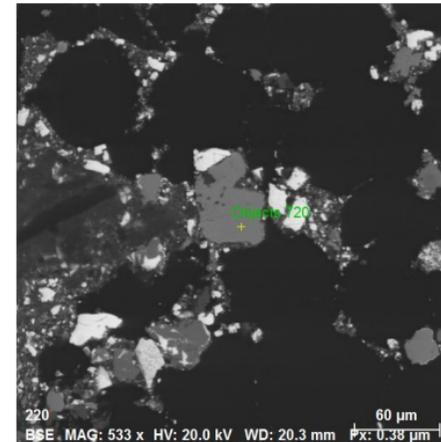


Figura 18. Imagen, composición y espectro de enargita con plata por debajo del límite de detección (Imagen 6).



Spectrum: Objects 720

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	48.08	37.15	3.78
Sulfur	32.87	50.32	3.33
Arsenic	18.83	12.34	2.03
Iron	0.21	0.19	0.13
Silver	0.02	0.01	0.09
Total:		100.00	100.00

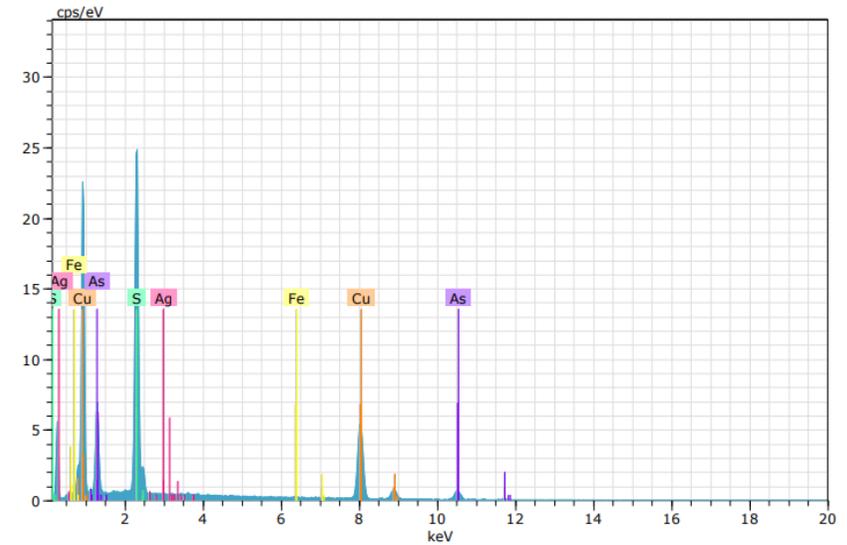


Figura 19. Imagen, composición y espectro de colusita (Imagen 6).

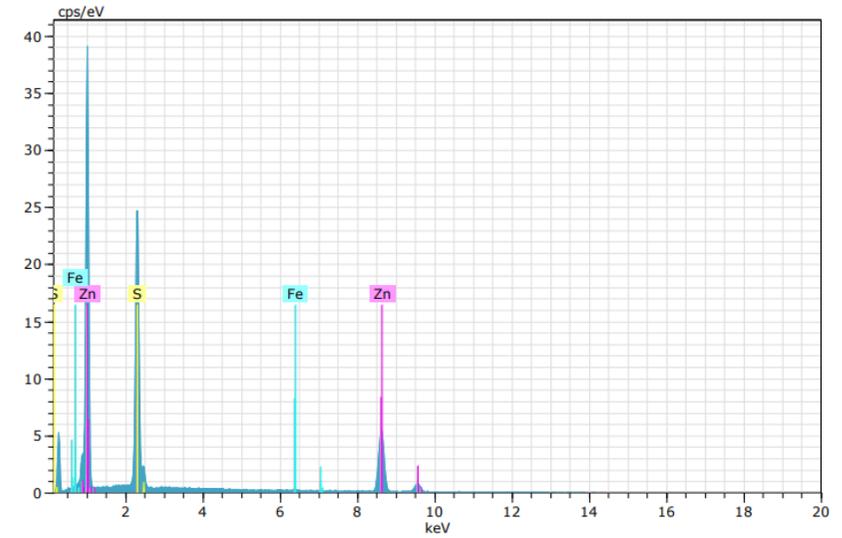
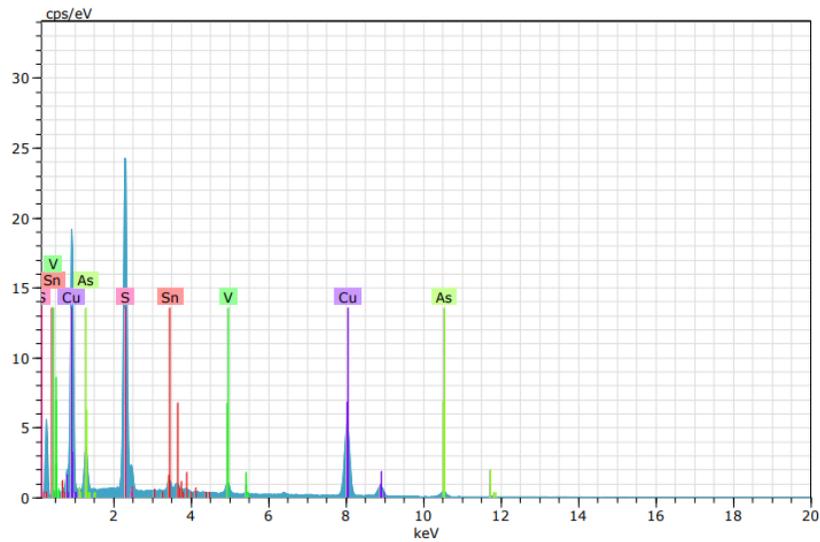
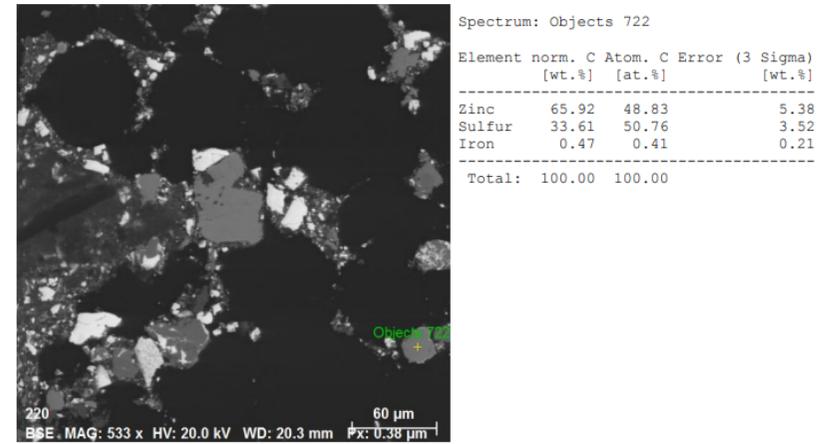
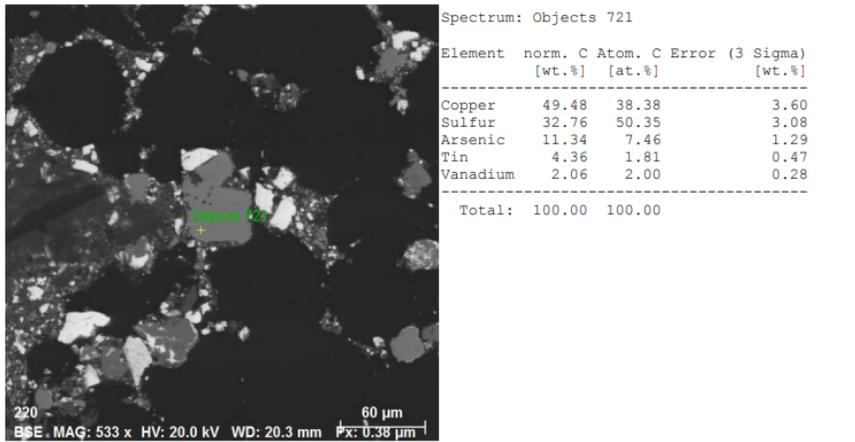


Figura 20. Imagen, composición y espectro de esfererita (Imagen 6).

Figura 21. Imagen, composición y espectro de enargita con antimonio (Imagen 7).

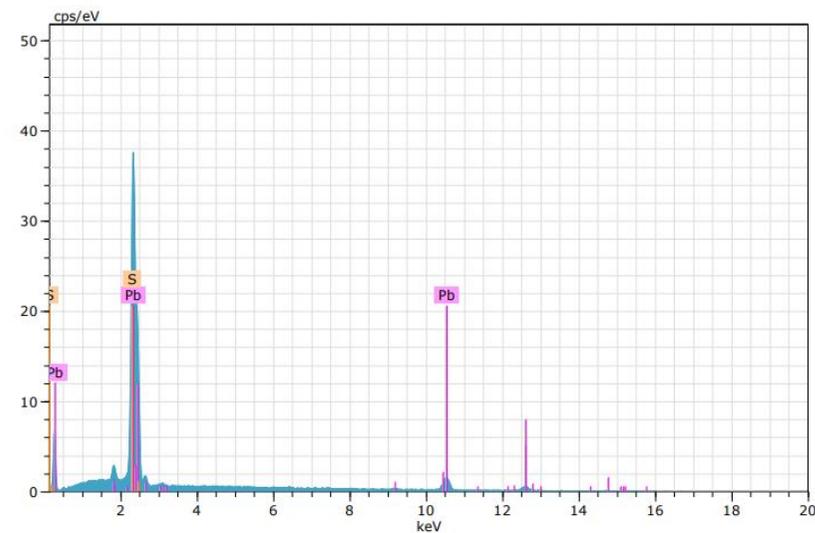
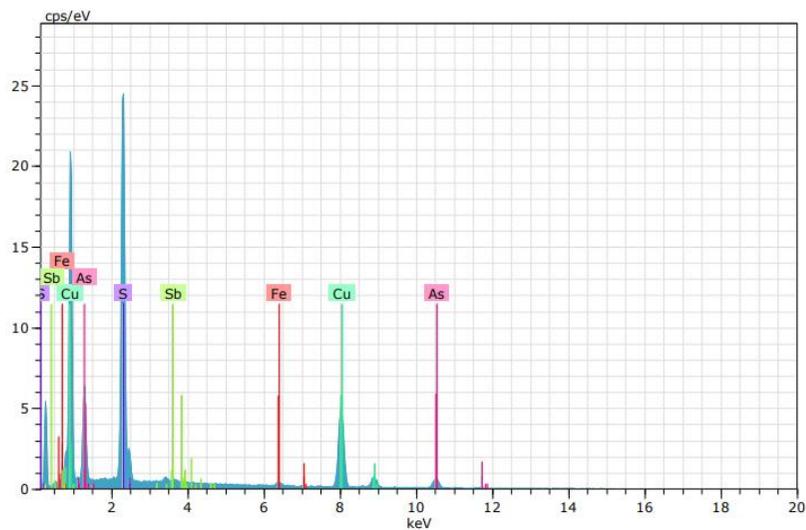
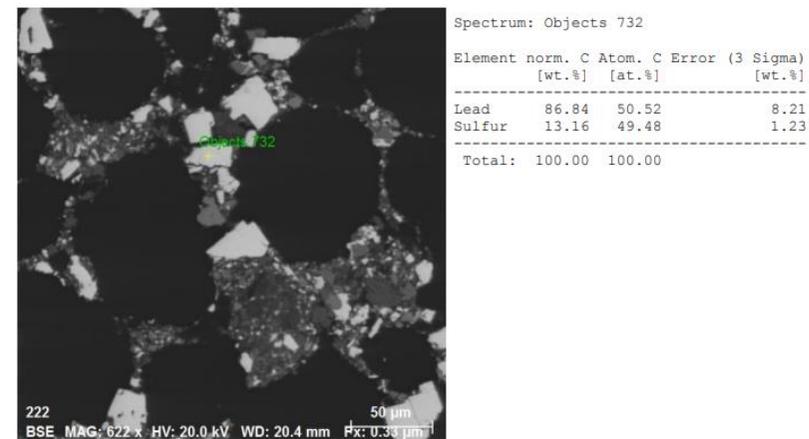


Figura 22. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 7).

Figura 23. Imagen, composición y espectro de enargita con antimonio (Imagen 8).

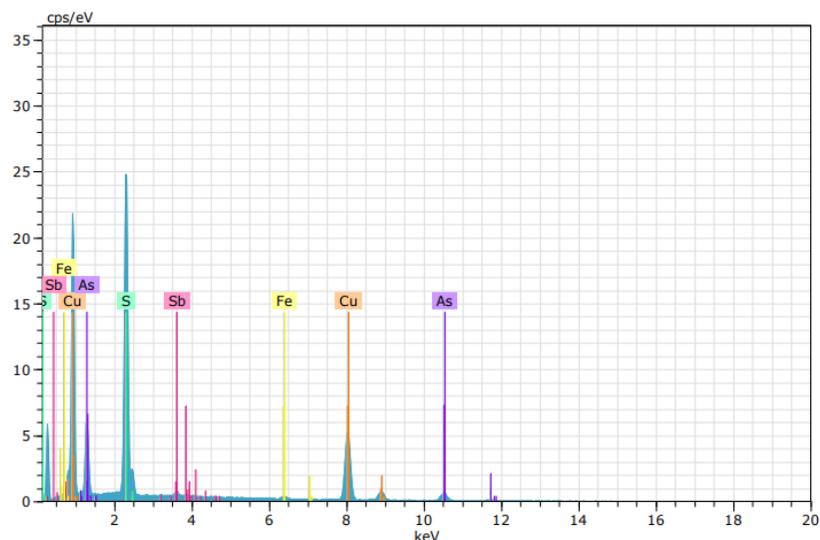
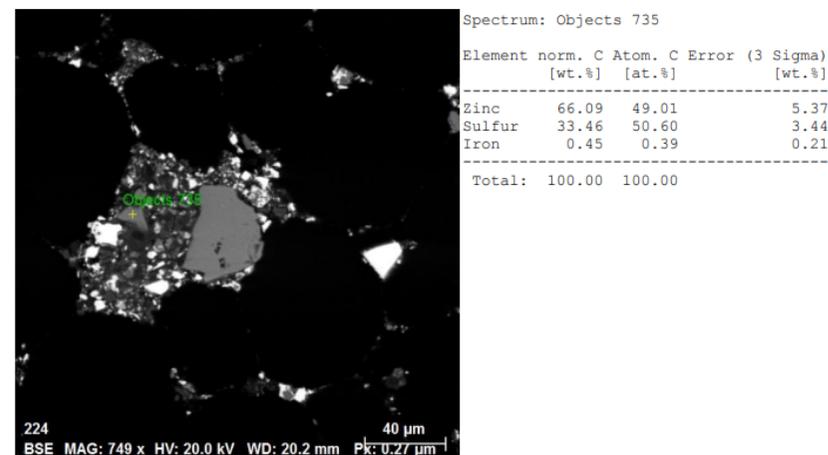
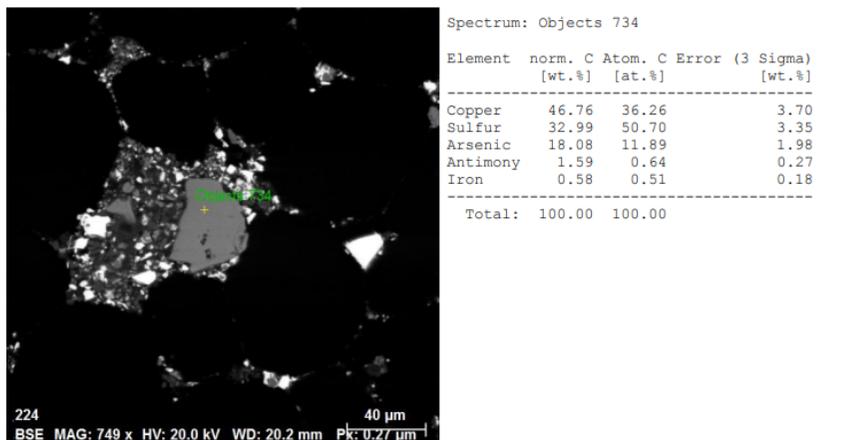


Figura 24. Imagen, composición y espectro de esfalerita (Imagen 9).

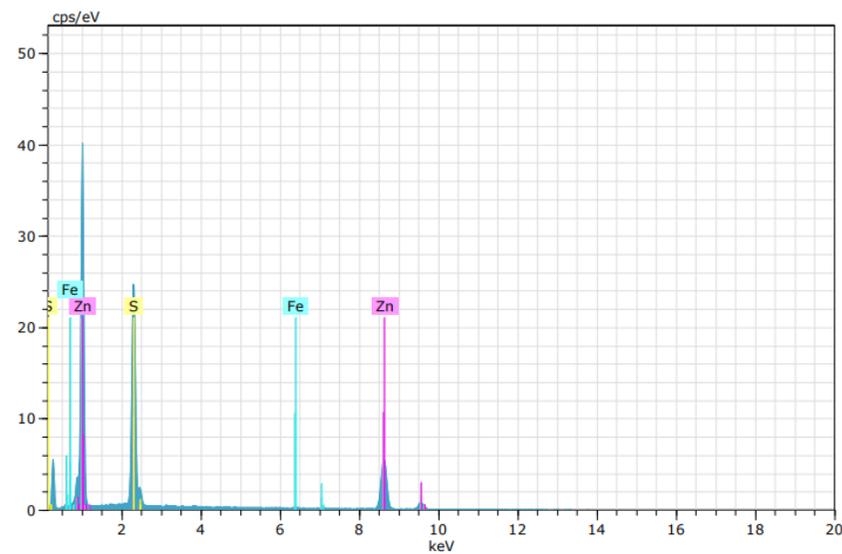
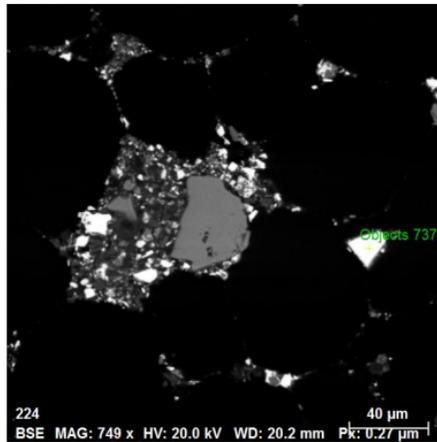
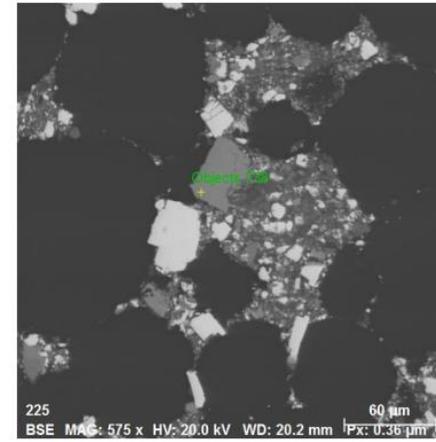


Figura 25. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 8).



Spectrum: Objects 737

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Lead	87.05	50.98	8.28
Sulfur	12.95	49.02	1.18
-----			
Total:	100.00	100.00	



Spectrum: Objects 738

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	47.87	37.06	3.84
Sulfur	32.69	50.15	3.40
Arsenic	19.01	12.48	2.42
Iron	0.26	0.23	0.16
Silver	0.17	0.08	0.14
-----			
Total:	100.00	100.00	

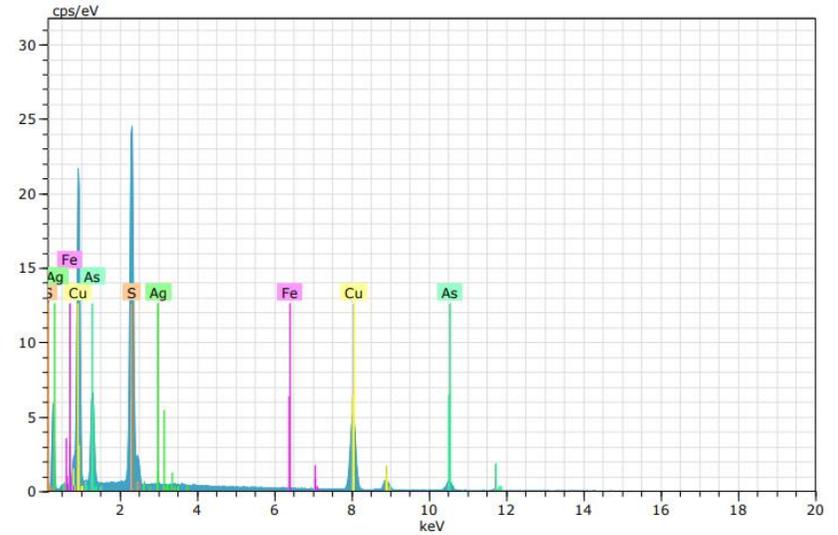
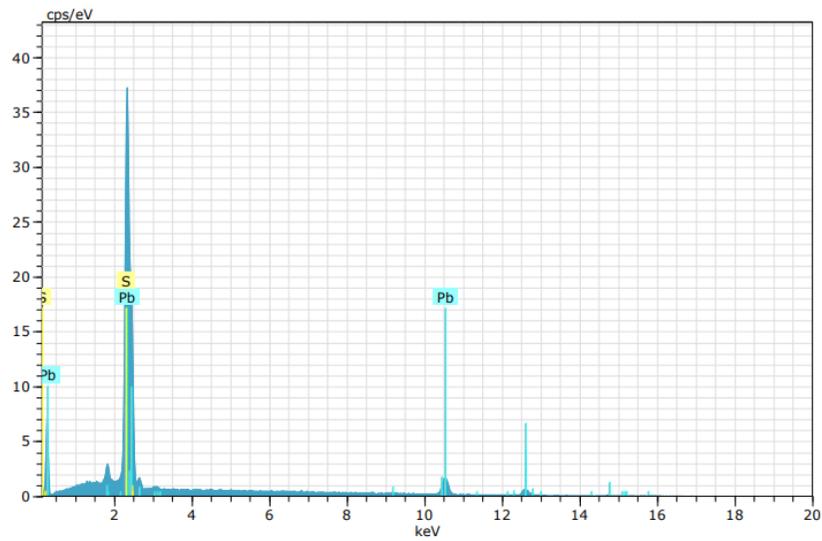


Figura 26. Imagen, composición y espectro de enargita con plata por debajo del límite de detección (Imagen 9)

Figura 27. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 9).

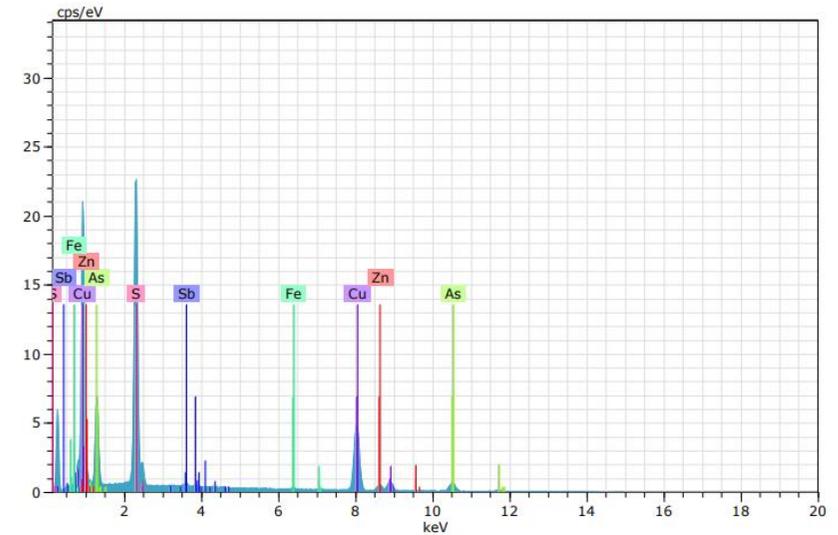
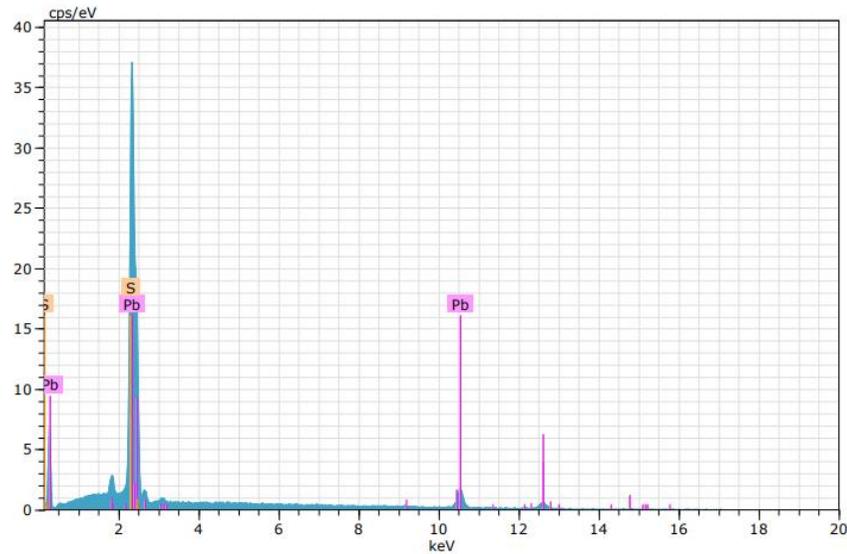
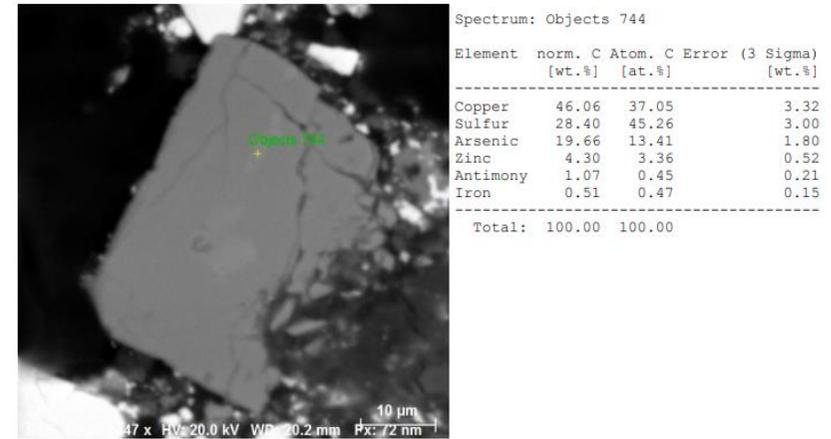
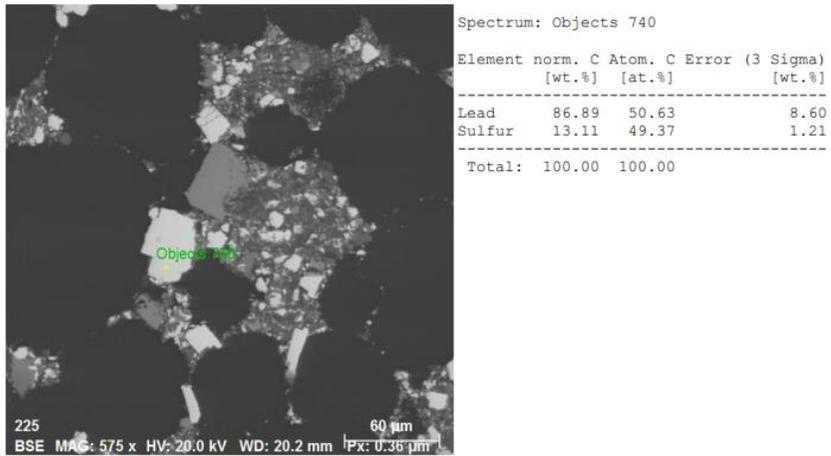


Figura 28. Imagen, composición y espectro de tennantita (Imagen 9 con mayor ampliación).

Figura 29. Imagen, composición y espectro de calcopirita (Imagen 10).

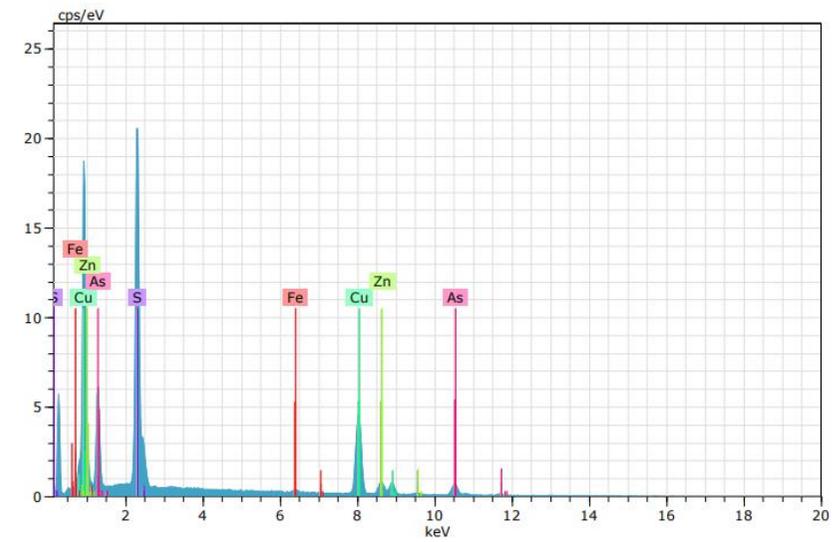
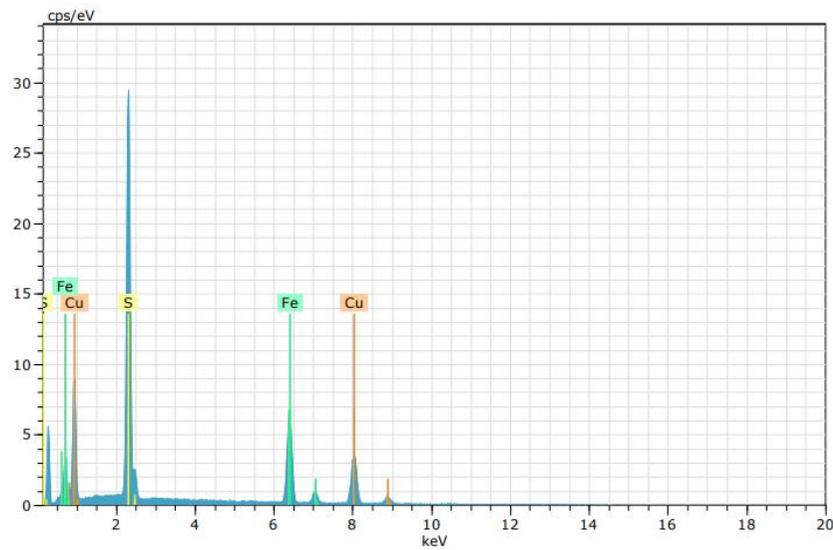
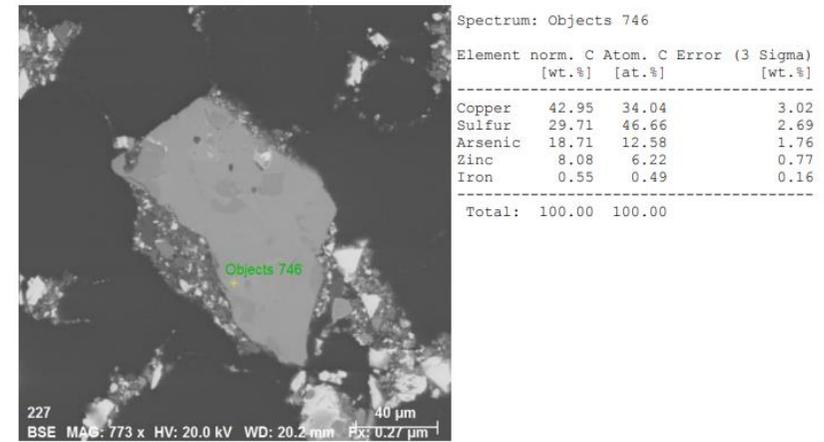
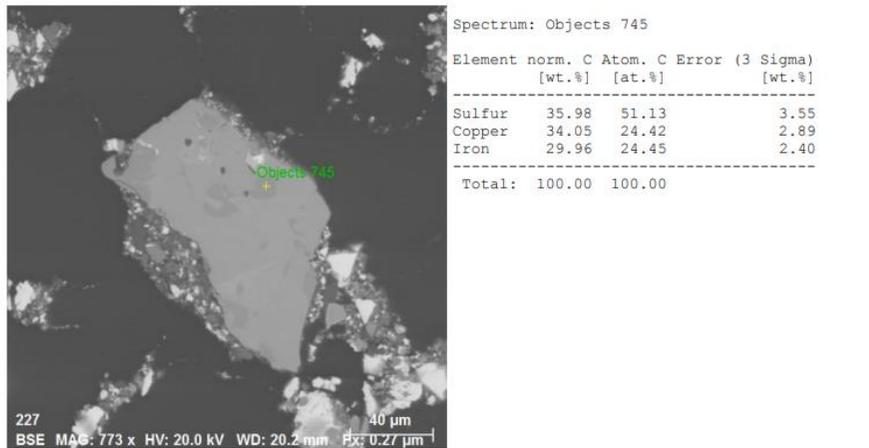


Figura 30. Imagen, composición y espectro de tennantita (Imagen 10).

Figura 31. Imagen, composición y espectro de pearceite (Imagen 10).

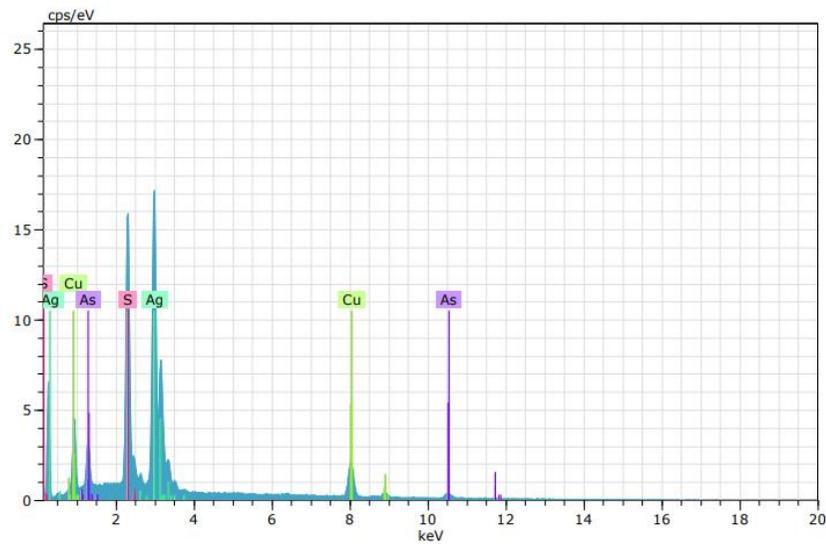
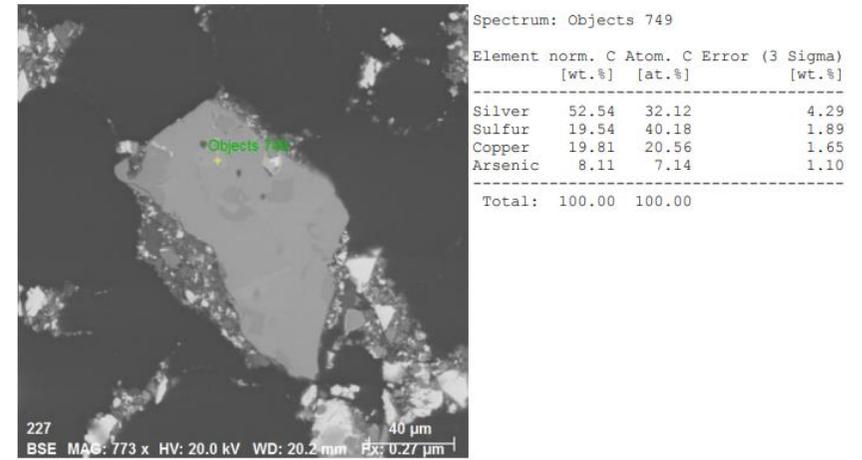
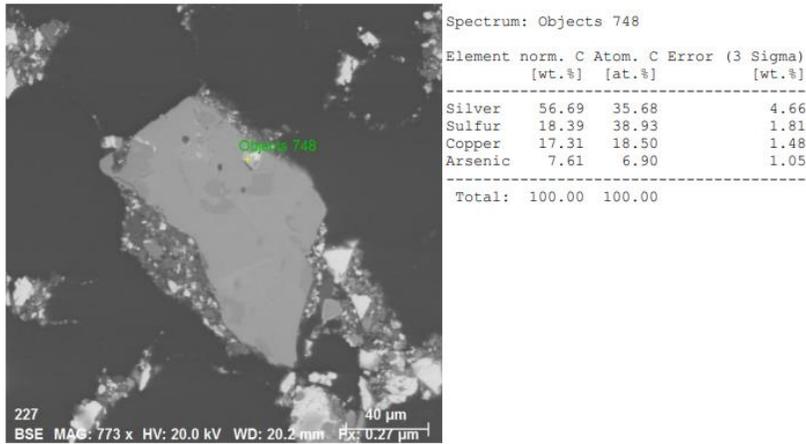


Figura 32. Imagen, composición y espectro de pearceita (Imagen 10).

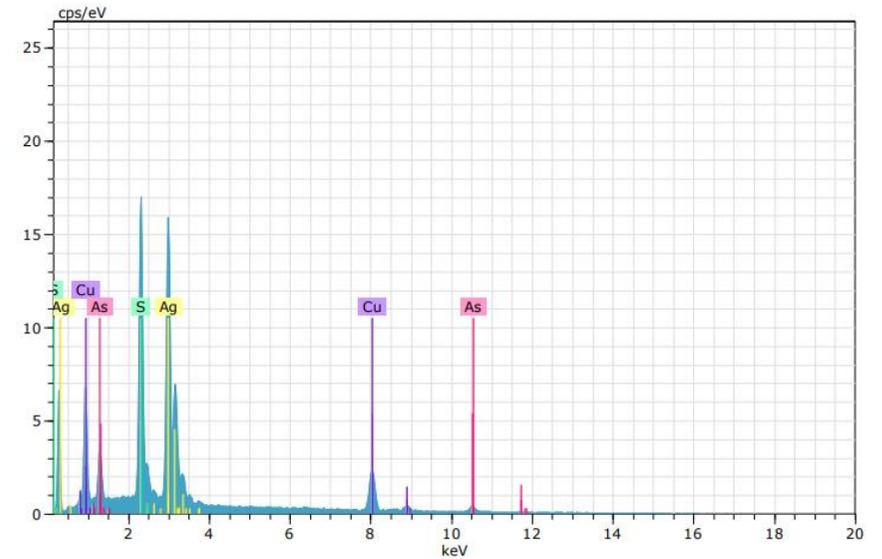


Figura 33. Imagen, composición y espectro de calcopirita (Imagen 10).

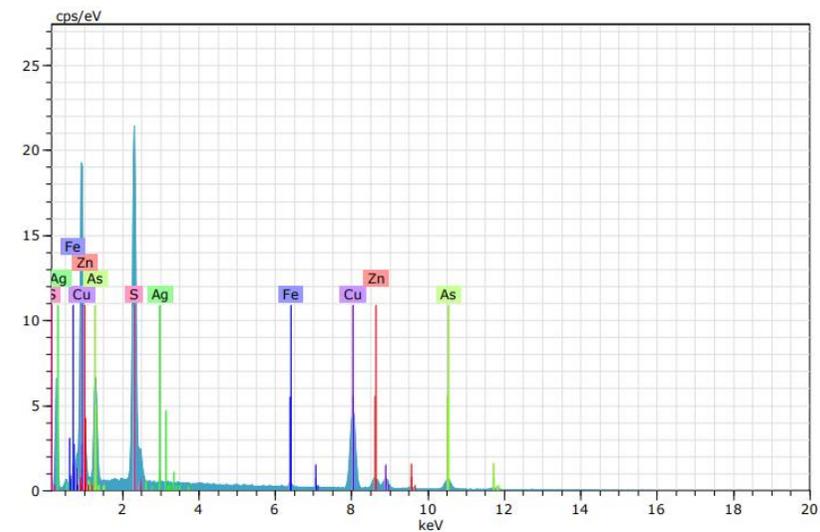
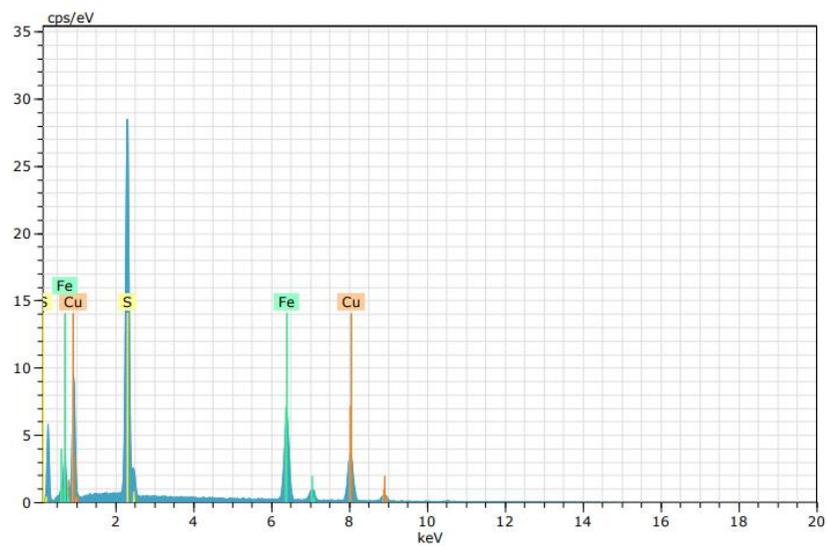
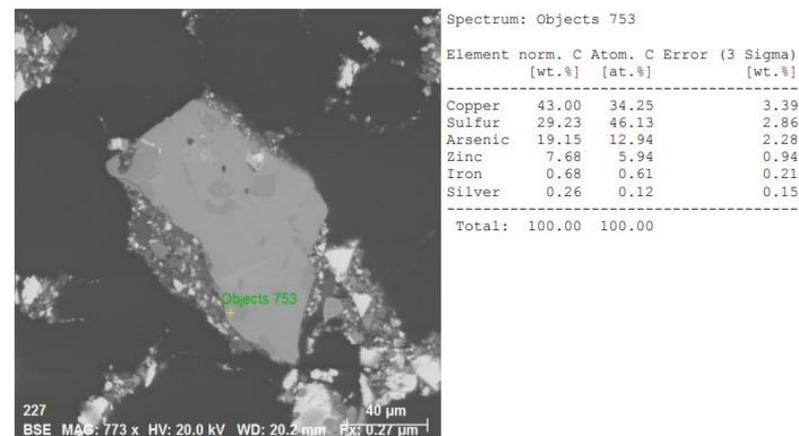
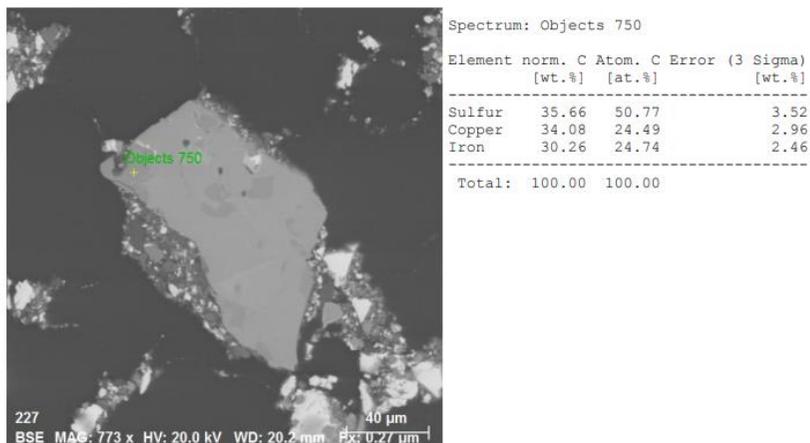


Figura 34. Imagen, composición y espectro de tennantita con plata (Imagen 10).

Figura 35. Imagen, composición y espectro de enargita (Imagen 11).

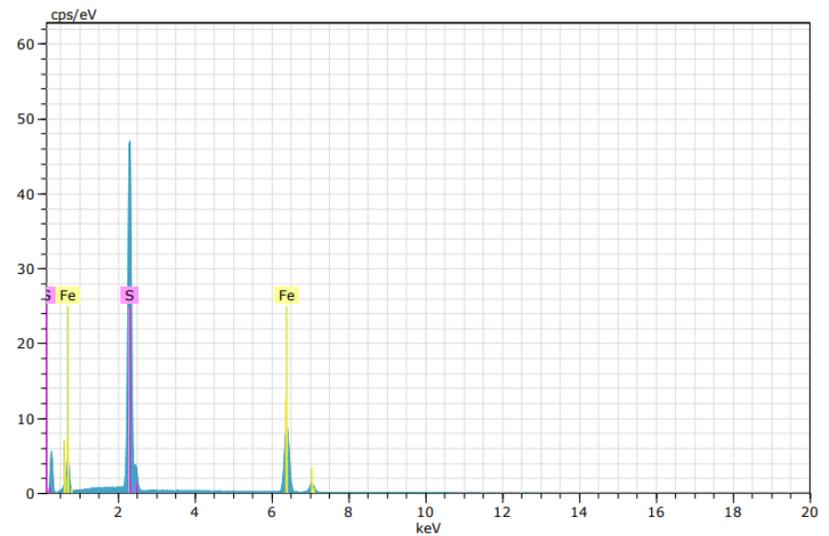
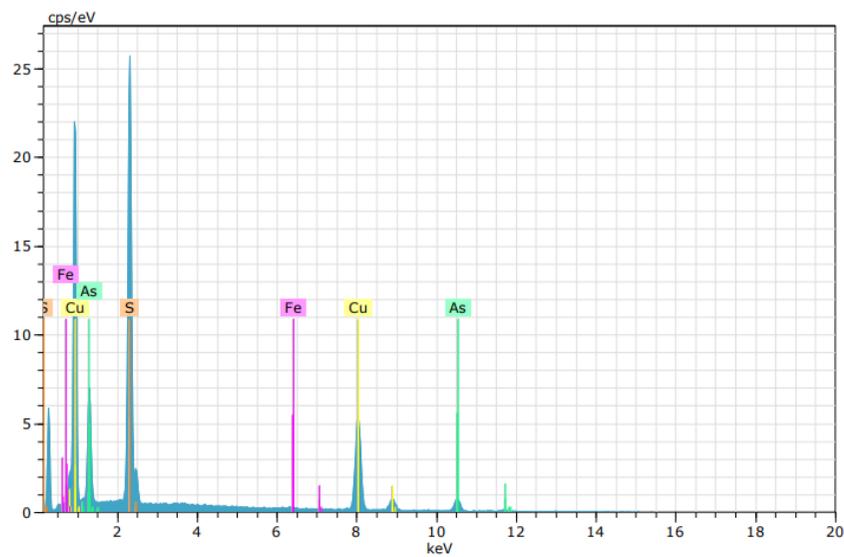
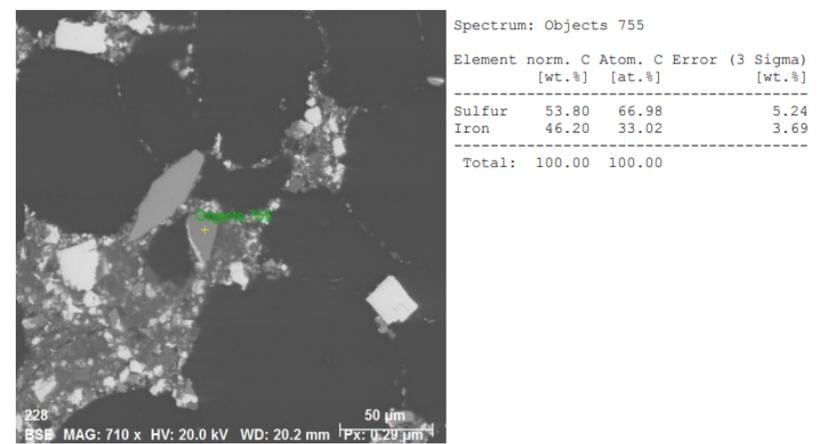
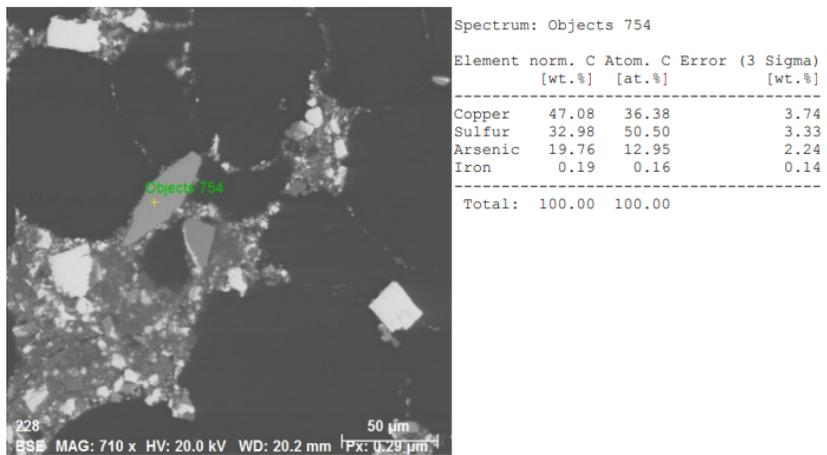
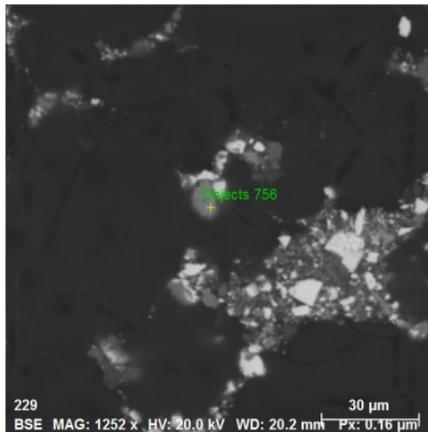


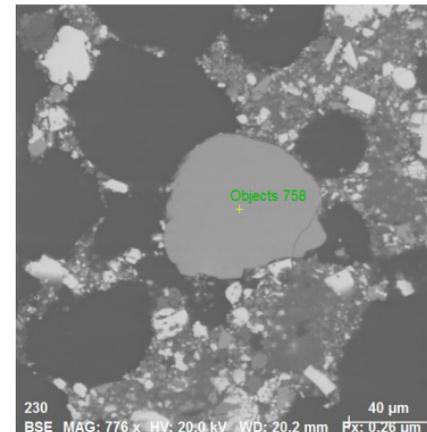
Figura 36. Imagen, composición y espectro de pirita (Imagen 11).

Figura 37. Imagen, composición y espectro covelita con plata (Imagen 12).



Spectrum: Objects 756

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	66.01	49.56	4.72
Sulfur	33.86	50.38	3.35
Silver	0.13	0.06	0.13
Total:		100.00	100.00



Spectrum: Objects 758

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	48.28	37.14	3.67
Sulfur	33.38	50.88	3.19
Arsenic	17.97	11.72	2.08
Iron	0.21	0.18	0.14
Silver	0.16	0.07	0.13
Total:		100.00	100.00

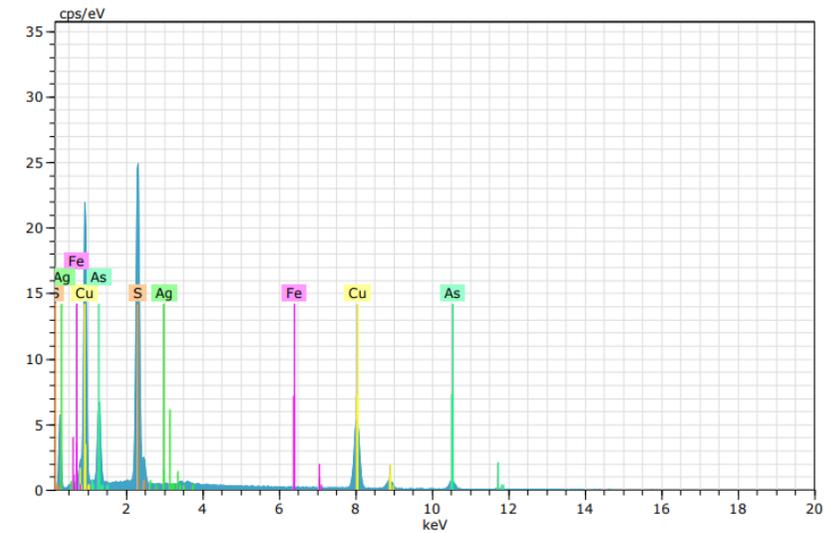
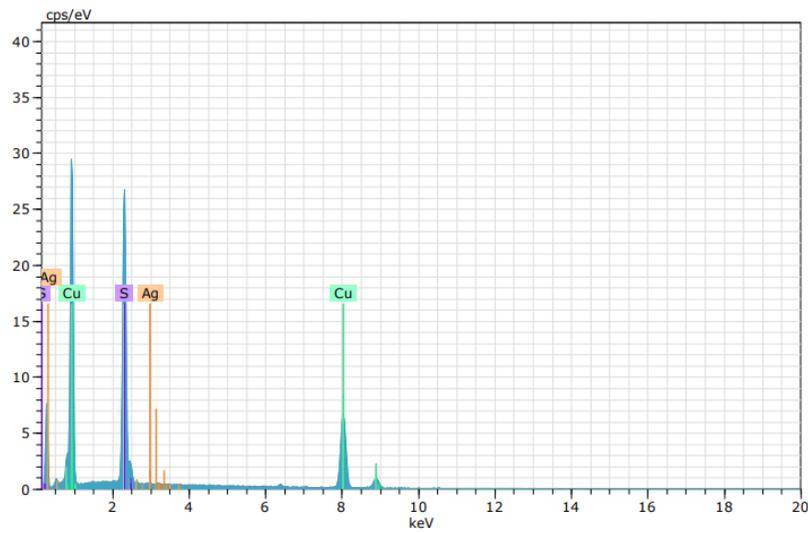


Figura 38. Imagen, composición y espectro energita con plata (Imagen 13).

Figura 39. Imagen, composición y espectro energita con plata (Imagen 14).

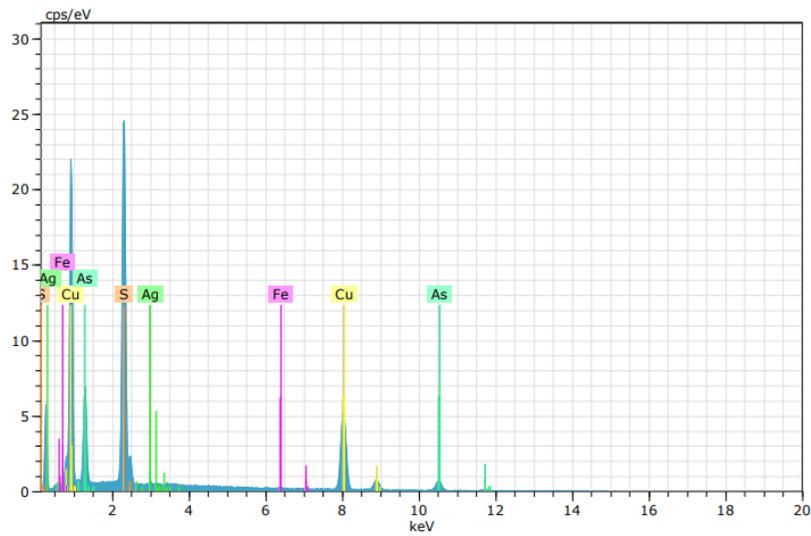
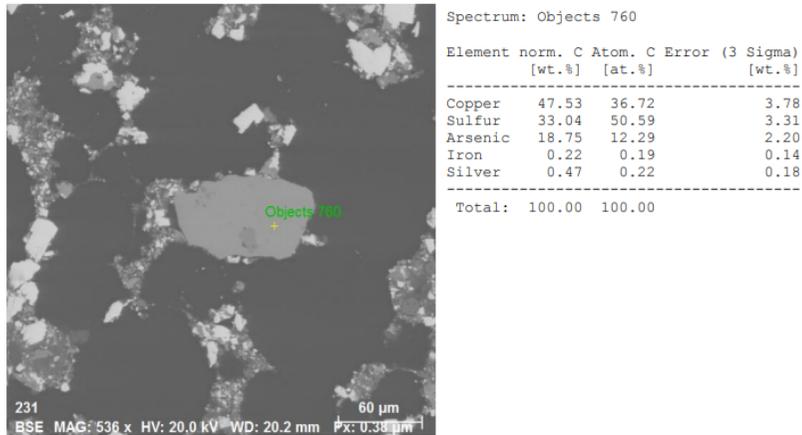


Figura 40. Imagen, composición y espectro pirita (Imagen 14).

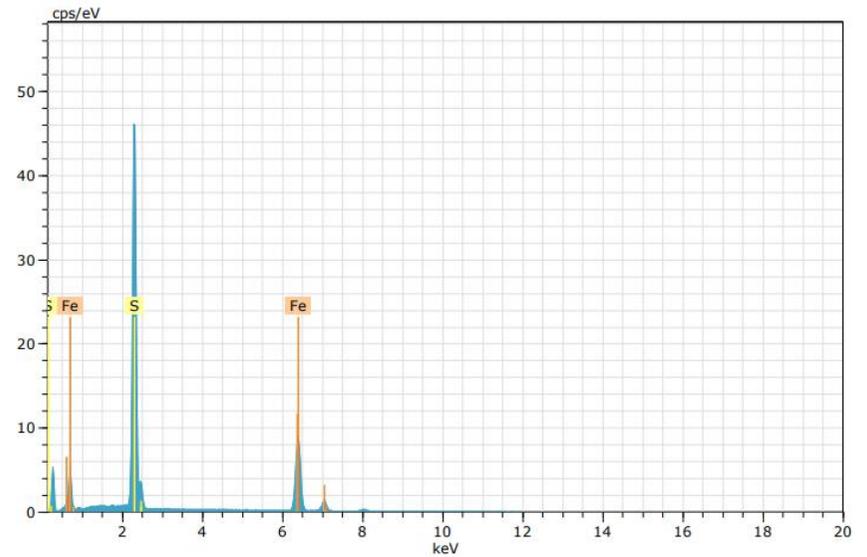
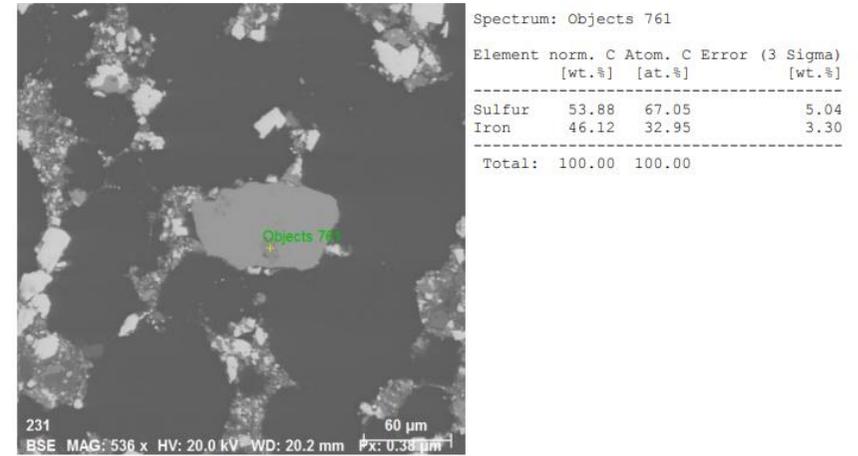


Figura 41. Imagen, composición y espectro covelita con hierro y plata (Imagen 15).

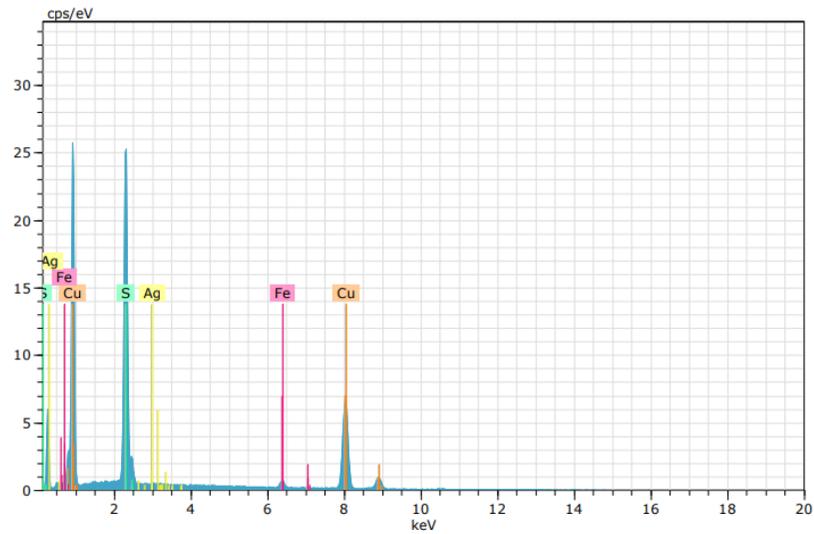
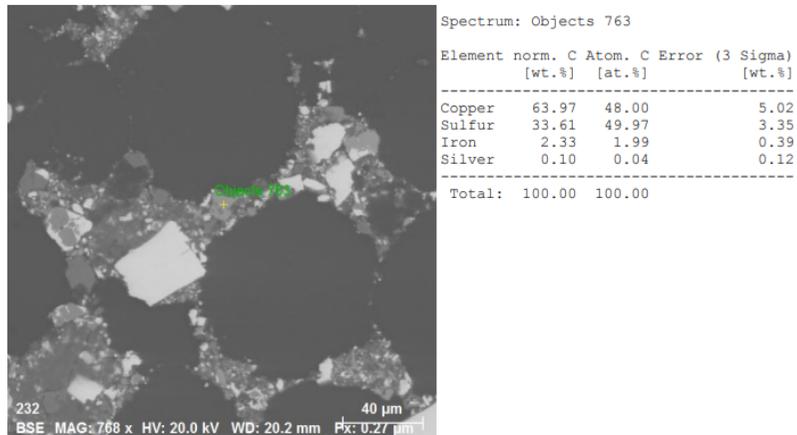


Figura 42. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 15).

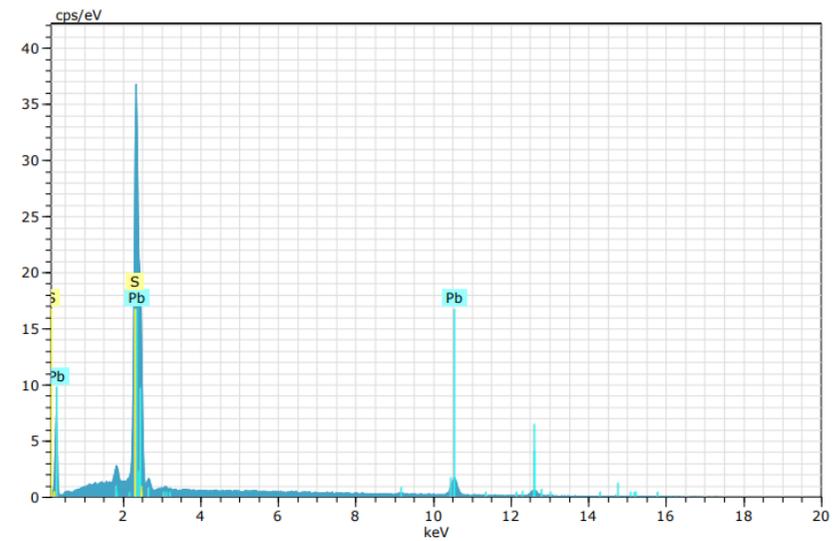
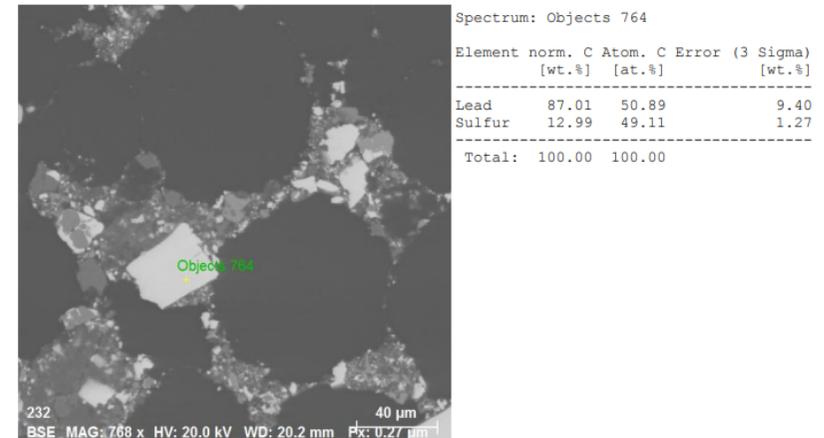


Figura 43. Imagen, composición y espectro de colusita (Imagen 16).

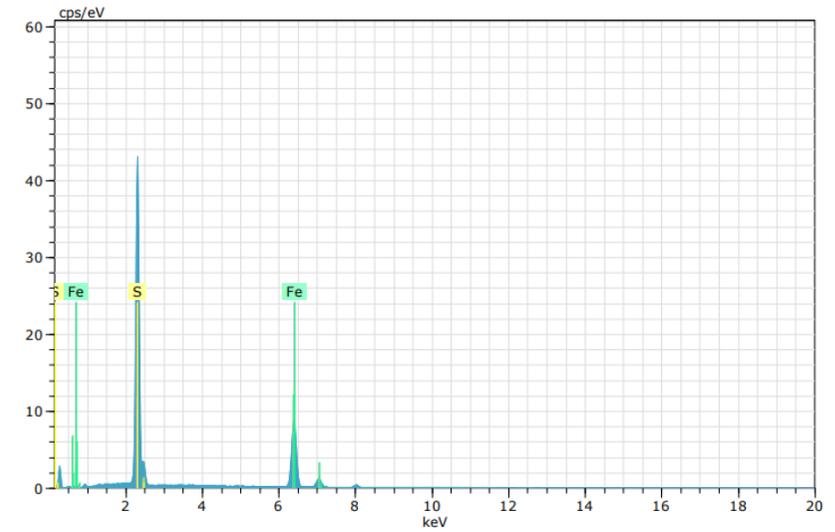
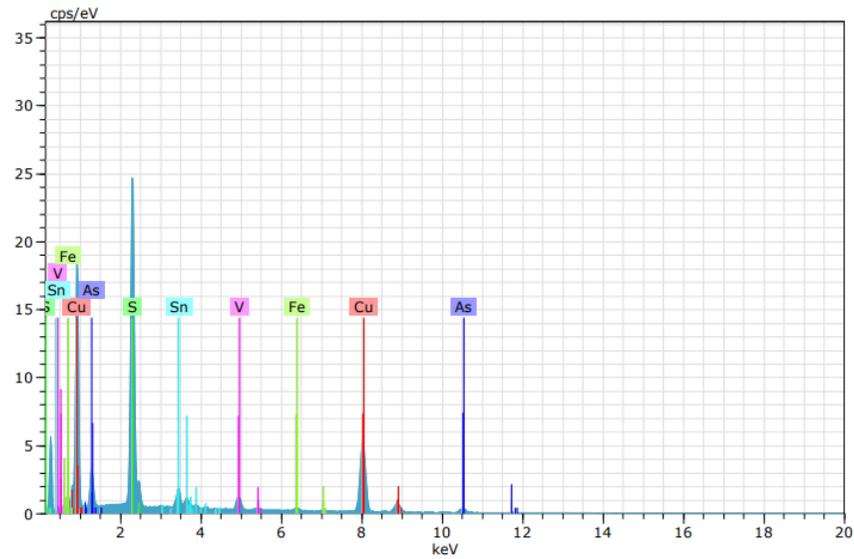
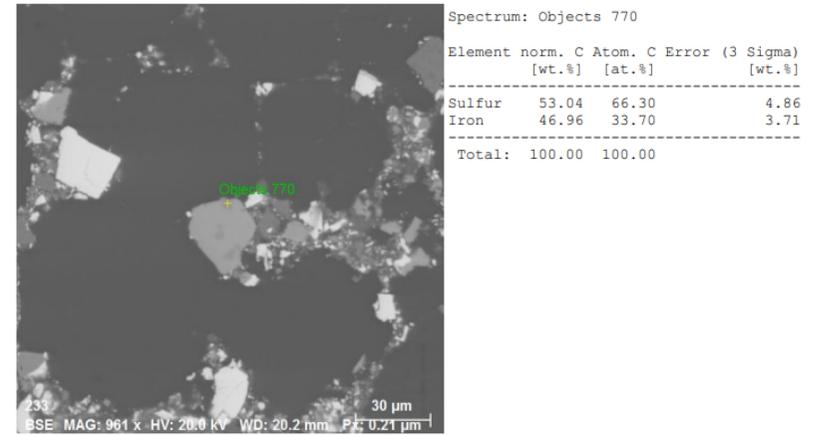
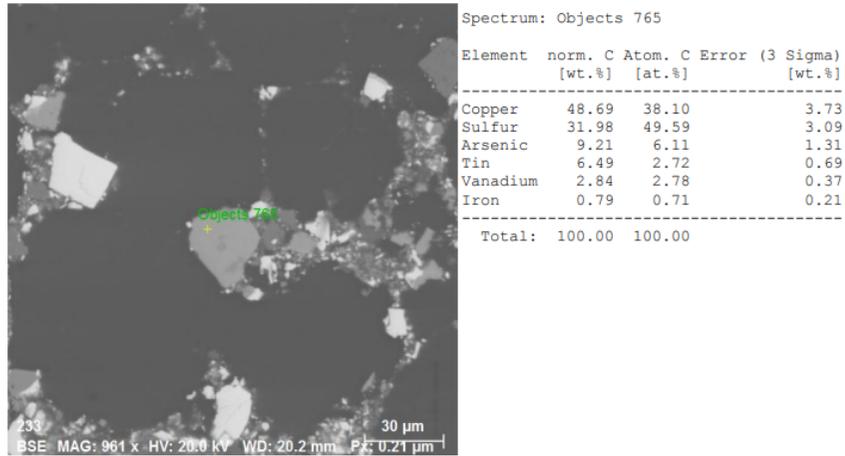


Figura 44. Imagen, composición y espectro de pirita (Imagen 16).

Figura 45. Imagen, composición y espectro de enargita (Imagen 17).

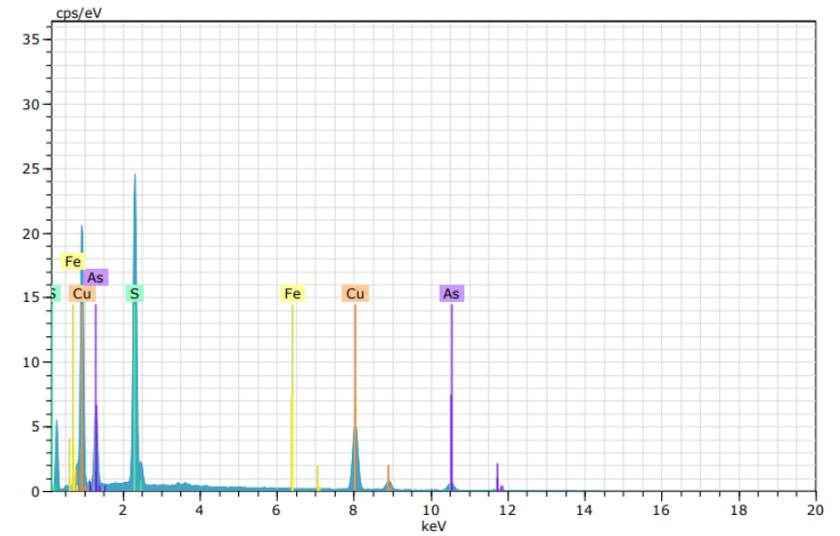
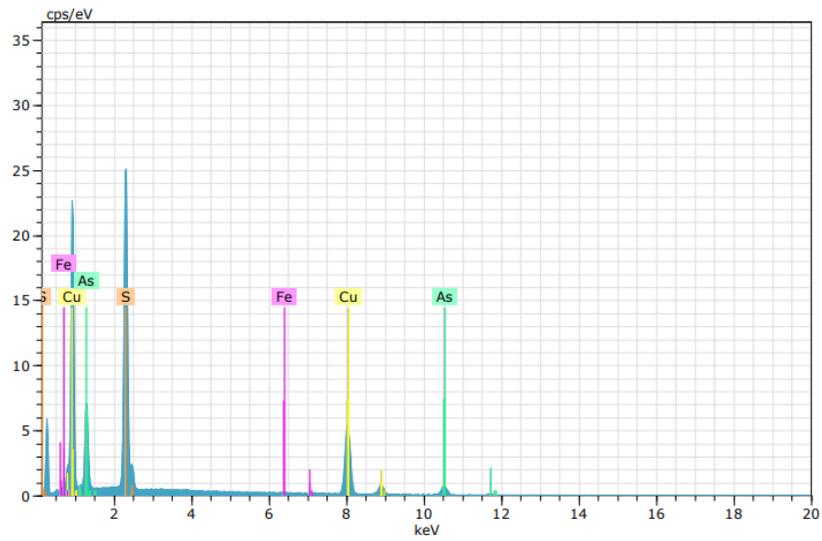
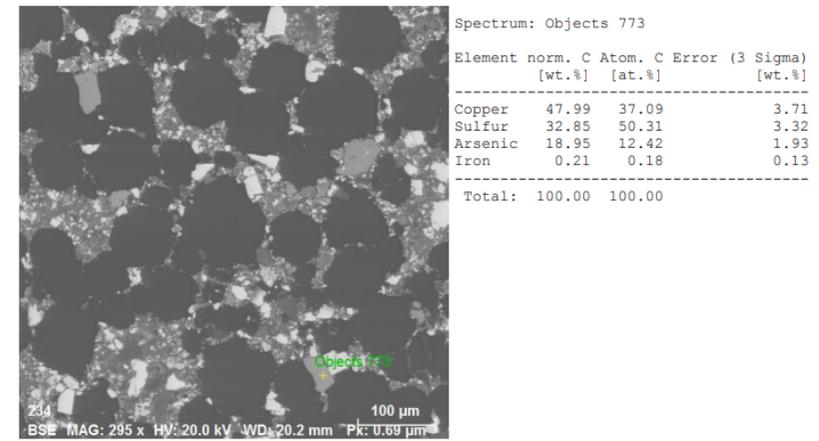
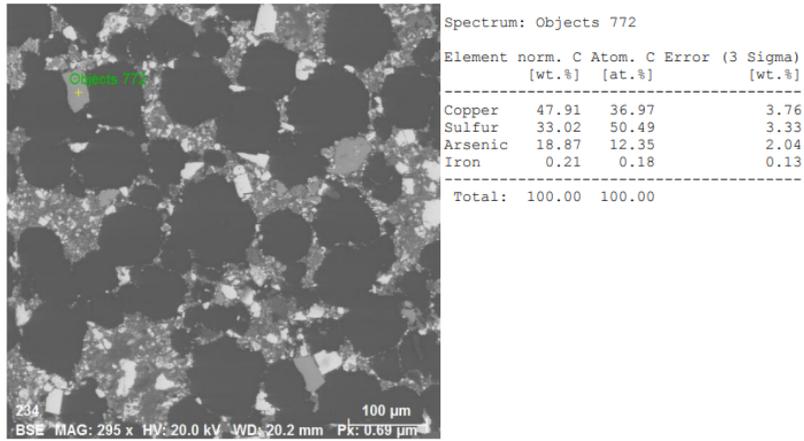
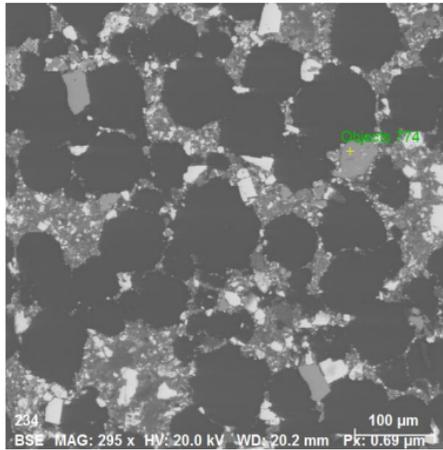


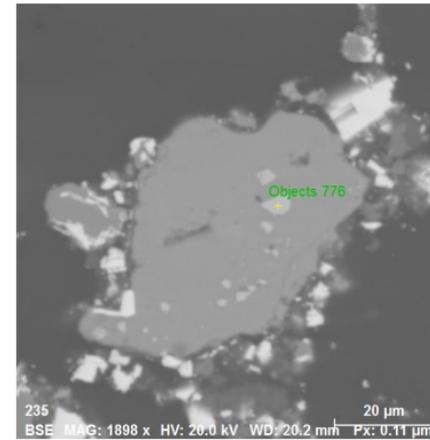
Figura 46. Imagen, composición y espectro de enargita (Imagen 17).

Figura 47. Imagen, composición y espectro de enargita (Imagen 17).



Spectrum: Objects 774

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Sulfur	35.86	51.01	3.48
Iron	29.81	24.35	2.35
Copper	34.32	24.64	2.86
Total:	100.00	100.00	



Spectrum: Objects 776

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Silver	59.40	37.53	4.88
Sulfur	18.59	39.51	1.82
Copper	14.53	15.59	1.27
Arsenic	5.58	5.08	0.84
Iron	1.89	2.30	0.30
Total:	100.00	100.00	

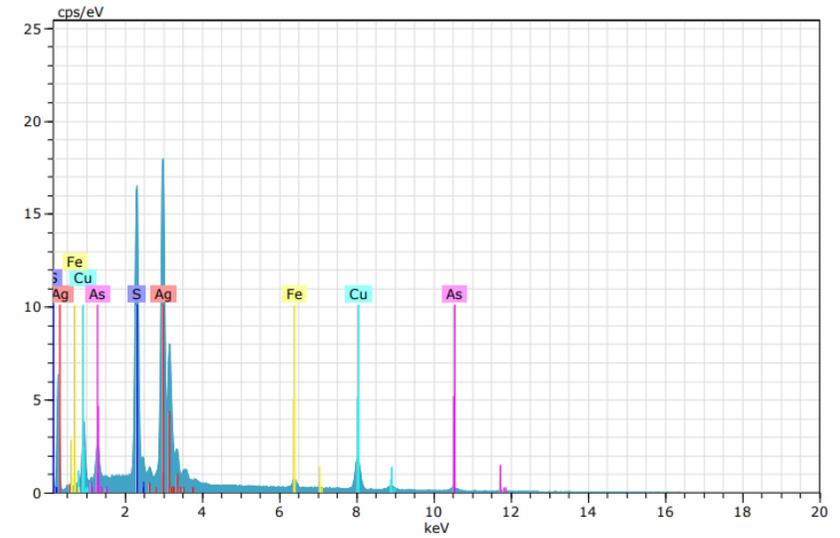
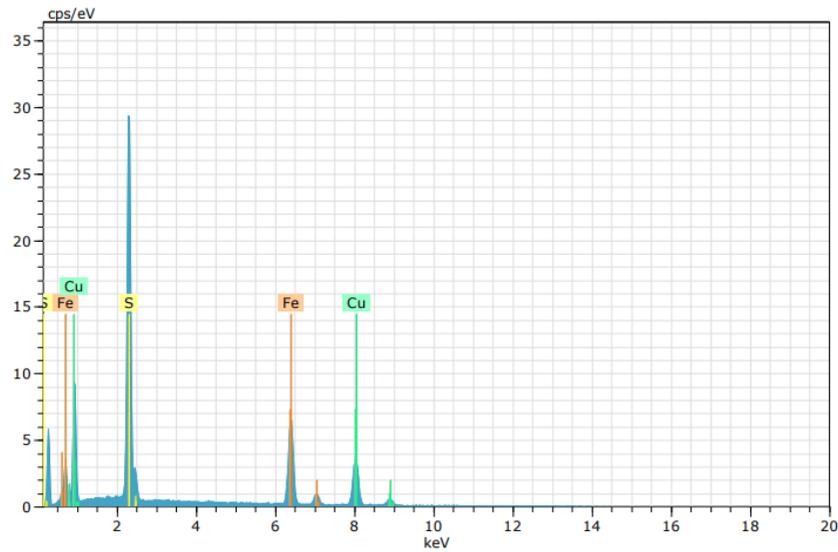
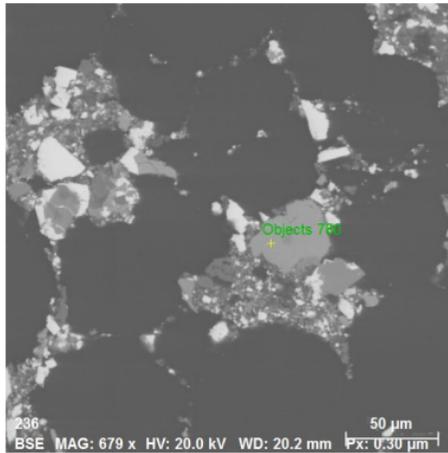


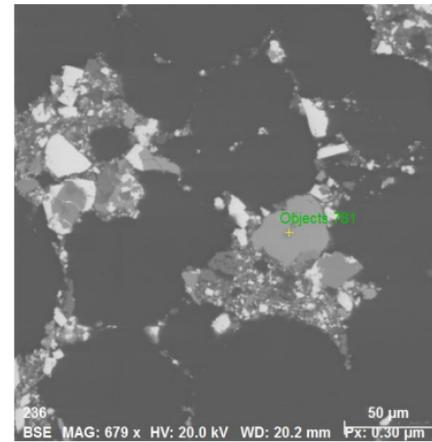
Figura 49. Imagen, composición y espectro de pearceita (Imagen 18).

Figura 48. Imagen, composición y espectro de pearceita (Imagen 17 en mayor ampliación).



Spectrum: Objects 780

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Copper	46.84	36.08	3.66
Sulfur	33.17	50.63	3.30
Arsenic	18.97	12.39	2.10
Iron	1.03	0.90	0.23
Total:	100.00	100.00	



Spectrum: Objects 781

Element	norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Sulfur	52.99	66.25	5.22
Iron	47.01	33.75	3.74
Total:	100.00	100.00	

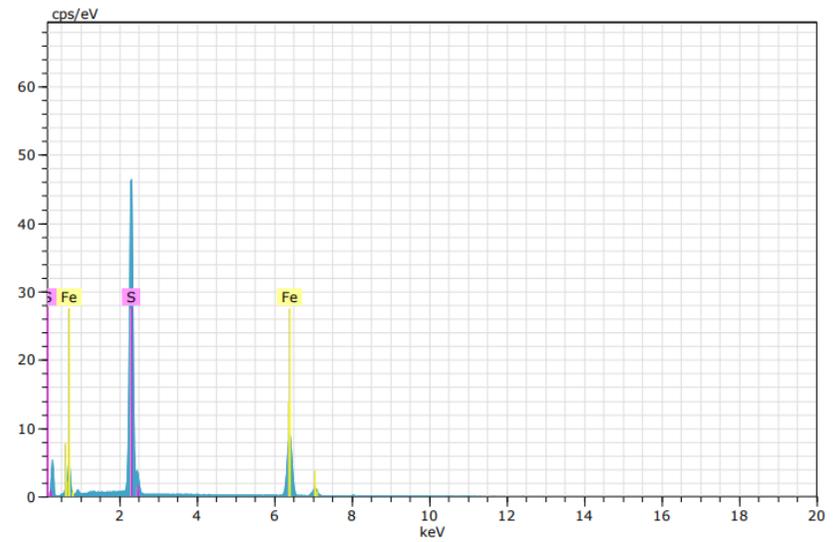
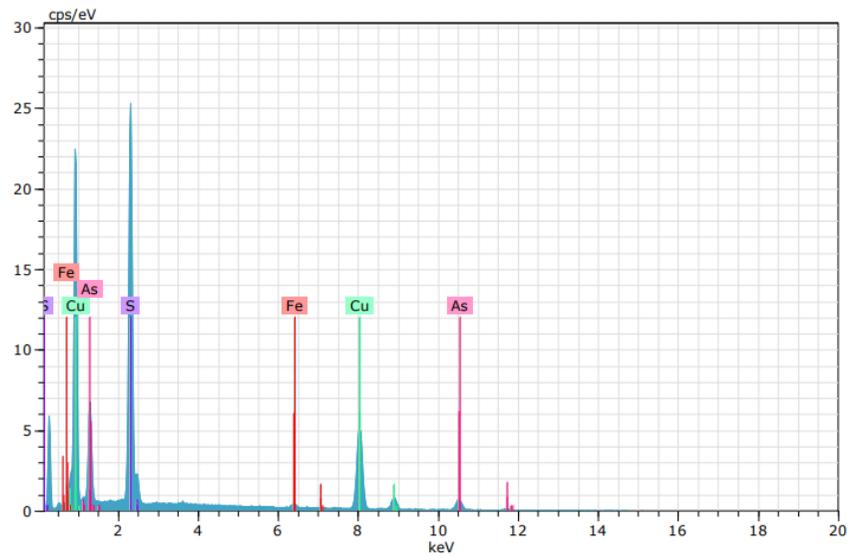
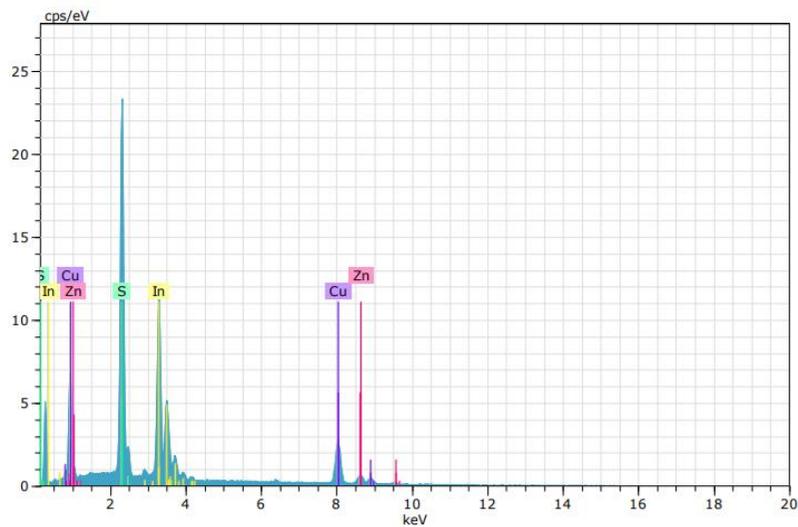
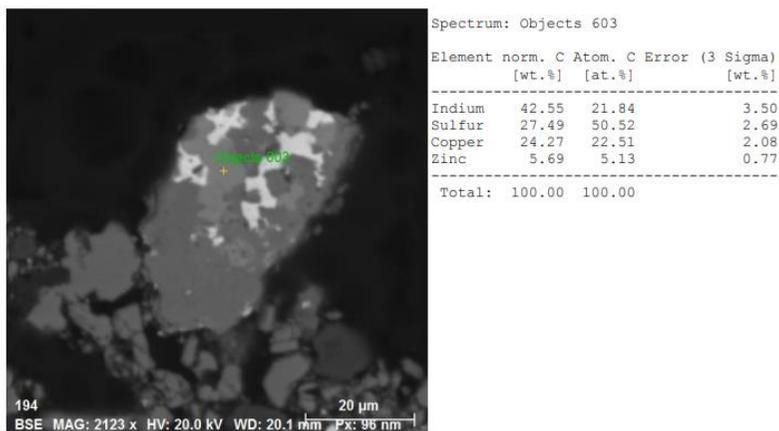


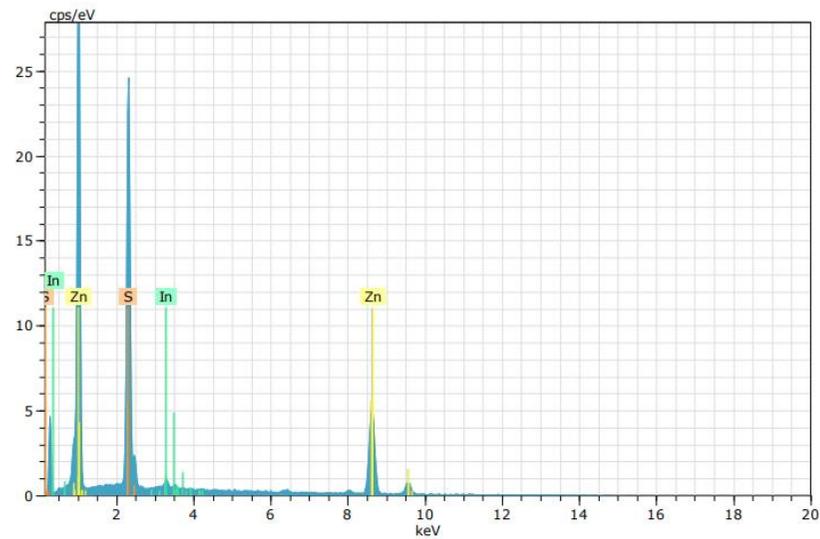
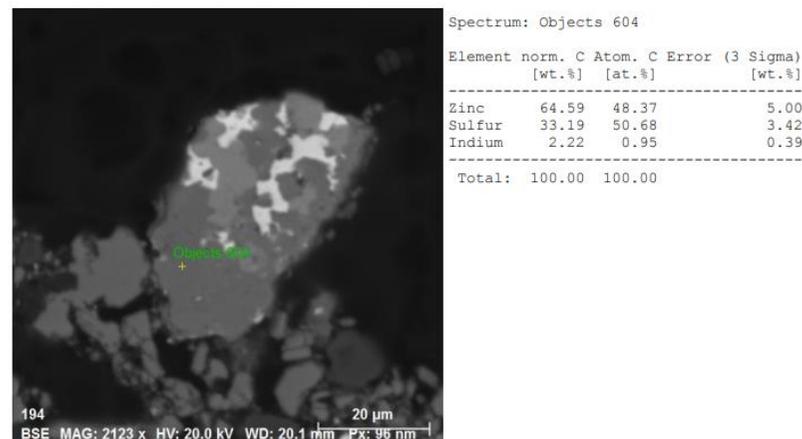
Figura 50. Imagen, composición y espectro de pirita (Imagen 18).

**ESPECTROS DE LOS ANÁLISIS  
REALIZADOS EN MICROSCOPIA  
ELECTRÓNICA PARA LA MUESTRA  
“CONCENTRADO ZN”.**

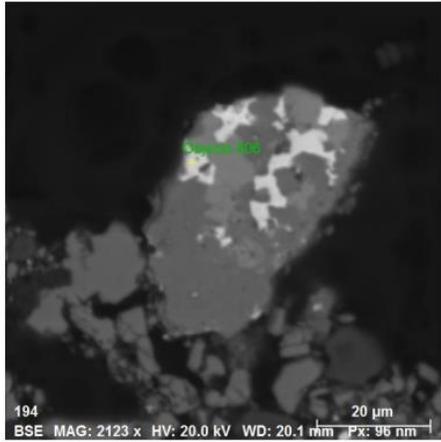
**Figura 51. Imagen, composición y espectro de roquesita (Imagen 19).**



**Figura 52. Imagen, composición y espectro de esfalerita con contenidos de indio (Imagen 19).**



**Figura 53. Imagen, composición y espectro de galena (Imagen 19).**



Spectrum: Objects 606

Element	norm.	C	Atom.	C	Error (3 Sigma)
	[wt.%]		[at.%]		[wt.%]
Lead	86.47		49.73		6.70
Sulfur	13.53		50.27		1.23
Total:	100.00		100.00		

