

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Caracterización mineralógica de un yacimiento  
pórfido de cobre en la zona central del Perú**

Jordy Junior Cristobal Condor  
Gustavo Daniel Aguilar Adriano

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Benjamín Manuel Ramos Aranda  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 30 de noviembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

Caracterización mineralógica de un yacimiento pórfido de cobre en la zona central del Perú

**Autores:**

1. Gustavo Daniel Aguilar Adriano – EAP. Ingeniería de Minas
2. Jordy Junior Cristobal Condor – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **AGRADECIMIENTO**

Ofrezco mi sincero agradecimiento a Dios, por iluminar mi camino todos los días de mi vida, por haberme dado salud para lograr mis objetivos y concluir mi carrera universitaria.

Gustavo

Agradezco a mis padres y a Dios que me han acompañado durante mi formación académica. Su dedicación, esfuerzo y amor han sido fundamentales para el éxito de mi etapa como estudiante y para el desarrollo en una sociedad mejor.

Jordy

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi madre, quien fue mi principal fuente de apoyo, a mi familia maravillosa quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

Gustavo

Quiero dedicar este trabajo a Dios, por su guía y apoyo en mi proceso educativo. Su amor, paciencia y dedicación han sido la base de mi camino al éxito académico y personal.

Jordy

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRAC.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problema específico.....	15
1.3. Objetivo de la investigación .....	16
1.3.1. Objetivo general .....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación de la investigación. ....	16
1.4.1. Justificación teórica .....	16
1.4.2. Justificación práctica .....	16
1.5. Hipótesis .....	16
1.5.1. Hipótesis general .....	16
1.5.2. Hipótesis específica .....	17
1.6. Identificación de la variable.....	17
1.6.1. Variable dependiente .....	17
1.6.2. Variable independiente .....	17
1.6.3. Operación de la variable .....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. Antecedentes de investigación.....	19
2.1.1 Artículos científicos.....	19
2.1.2 Tesis nacionales e internaciones.....	19
2.2. Bases teóricas.....	20
2.3. Definición de términos básicos.....	21

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	23
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	23
3.1.1. Método general.....	23
3.1.2. Tipo de investigación .....	23
3.1.3. Nivel de investigación .....	23
3.2. Diseño de la investigación .....	23
3.3. Población y muestra.....	23
3.3.1. Población .....	23
3.3.2. Muestra .....	23
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
3.4.1. Técnicas de recolección de datos .....	24
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	24
3.5. Metodología de la investigación .....	24
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	26
4.1 Análisis de coordenadas.....	26
4.1.1 Ubicación específica .....	26
4.2 Muestra: M-1 .....	26
4.2.1 Coordenada de muestra 1.....	26
4.2.2 Mineralogía.....	27
4.2.3 Descripción microscópica.....	27
4.2.3.1. Pirita (FeS <sub>2</sub> ) .....	27
4.2.3.2. Rutilo (TiO <sub>2</sub> ).....	27
4.2.3.3. Esfalerita (ZnS).....	27
4.2.3.4. Tetraedrita (Cu,Fe <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ).....	27
4.2.3.5. Boulangerita (Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub> ).....	27
4.2.3.6. Arsenopirita (FeAsS).....	27
4.2.4 Distribución volumétrica porcentual .....	28
4.2.5 Textura .....	28
4.2.6 Paragénesis .....	28
4.2.7 Observaciones.....	28
4.2.8 Fotomicrografías.....	29
4.3 Muestra: M-2 .....	30
4.3.1 Coordenada de muestra 2.....	30
4.3.2 Mineralogía.....	30
4.3.3 Descripción microscópica.....	31

4.3.3.1. Arsenopirita (FeAsS).....	31
4.3.3.2. Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> ).....	31
4.3.3.3. Pirita (FeS <sub>2</sub> ).....	31
4.3.3.4. Arsenopirita (FeAsS).....	31
4.3.3.5. Tetraedrita (Cu,Fe <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ).....	31
4.3.3.6. Esfalerita (ZnS).....	32
4.3.3.7. Boulangerita (Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub> ).....	32
4.3.3.8. Galena (PbS).....	32
4.3.4 Distribución volumétrica porcentual.....	32
4.3.5 Textura.....	33
4.3.6 Paragénesis.....	33
4.3.7 Observación.....	33
4.3.8 Fotomicrografías.....	33
4.4 Muestra: M-3.....	35
4.4.1. Coordenada de muestra 3.....	35
4.4.2. Mineralogía.....	35
4.4.3. Descripción microscópica.....	36
4.4.3.1. Pirita (FeS <sub>2</sub> ).....	36
4.4.3.2. Esfalerita (ZnS).....	36
4.4.3.3. Tetraedrita (Cu,Fe <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ).....	36
4.4.3.4. Galena (PbS).....	36
4.4.3.5. Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> ).....	36
4.4.3.6. Boulangerita (Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub> ).....	37
4.4.4. Distribución volumétrica porcentual.....	37
4.4.5. Textura.....	37
4.4.6. Paragénesis.....	37
4.4.7. Observaciones.....	37
4.4.8. Fotomicrografías.....	38
4.5 Muestra: M-4.....	39
4.5.1. Coordenada de muestra 4.....	39
4.5.2. Mineralogía.....	40
4.5.3. Descripción microscópica.....	40
4.5.3.1. Tetraedrita (Cu,Fe <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ).....	40
4.5.3.2. Pirita (FeS <sub>2</sub> ).....	40

4.5.3.3. Esfalerita (ZnS).....	40
4.5.3.4. Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> ).....	41
4.5.3.5. Boulangerita (Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub> ) .....	41
4.5.3.6. Galena (PbS).....	41
4.5.4. Distribución volumétrica porcentual .....	41
4.5.5. Textura .....	42
4.5.6. Paragénesis .....	42
4.5.7. Observaciones.....	42
4.5.8. Fotomicrografías.....	42
4.6 Muestra: M-5 .....	44
4.6.1. Coordenada de muestra 5 .....	44
4.6.2. Mineralogía.....	44
4.6.3. Descripción microscópica .....	44
4.6.3.1. Esfalerita (ZnS) .....	44
4.6.3.2. Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> ).....	44
4.6.3.3. Pirita (FeS <sub>2</sub> ) .....	45
4.6.3.4. Galena (PbS) .....	45
4.6.3.5. Tetraedrita (Cu,Fe <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ).....	45
4.6.3.6. Arsenopirita (FeAsS).....	45
4.6.4. Distribución volumétrica porcentual .....	45
4.6.5. Textura .....	46
4.6.6. Paragénesis. ....	46
4.6.7. Observaciones.....	46
4.6.8. Fotomicrografías.....	46
4.7 Margen de error .....	48
4.8 Análisis grupal .....	48
4.9 Posible propietario .....	49
4.10 Se puede concluir: .....	49
4.10.1. Propietario y precaución.....	49
4.10.2. Problemas potenciales a futuro.....	50
4.10.3. Dificultades en la evaluación.....	50
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operación de variables .....	18
Tabla 2. Metodología de la investigación.....	25
Tabla 3. Resultado de muestra 1 .....	28
Tabla 4. Resultado de muestra 2 .....	32
Tabla 5. Resultado de muestra 3 .....	37
Tabla 6. Resultado de muestra 4 .....	41
Tabla 7. Resultado de muestra 5 .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Punto de muestreo 1.....	26
Figura 3. Primera fotomicrografía de muestra 1.....	29
Figura 4. Segunda fotomicrografía de muestra 1.....	29
Figura 5. Tomada de Laboratorio.....	29
Figura 6. Cuarta fotomicrografía de muestra 1.....	30
Figura 7. Punto de muestreo 2.....	30
Figura 8. Primera fotomicrografía de muestra 2.....	33
Figura 9. Segunda fotomicrografía de muestra 2.....	34
Figura 10. Tercera fotomicrografía de muestra 2.....	34
Figura 11. Cuarta fotomicrografía de muestra 2.....	34
Figura 12. Quinta fotomicrografía de muestra 2.....	35
Figura 13. Punto de muestreo 3.....	35
Figura 14. Primera fotomicrografía de muestra 3.....	38
Figura 15. Segunda fotomicrografía de muestra 3.....	38
Figura 16. Tercera fotomicrografía de muestra 3.....	39
Figura 17. Cuarta fotomicrografía de muestra 3.....	39
Figura 18. Punto de muestreo 4.....	40
<i>Figura 19. Primera fotomicrografía de muestra 4.....</i>	<i>42</i>
Figura 20. Segunda fotomicrografía de muestra 4.....	43
Figura 21. Tercera fotomicrografía de muestra 4.....	43
Figura 22. Cuarta fotomicrografía de muestra 4.....	43
Figura 23. Punto de muestreo 5.....	44
Figura 24. Primera fotomicrografía de muestra 5.....	47
Figura 25. Segunda fotomicrografía de muestra 5.....	47
Figura 26. Tercera fotomicrografía de muestra 5.....	47
Figura 27. Cuarta fotomicrografía de muestra 5.....	48
Figura 28. Puntos de muestreo.....	48
Figura 29. Puntos de muestreo.....	49
Figura 30. Búsqueda de posible propietario.....	49

## **RESUMEN**

Este estudio se enfocó en el análisis mineralógico de muestras de minerales opacos, incluyendo pirita, esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita y boulangerita. Se llevó a cabo una caracterización detallada de la composición mineralógica de las texturas observadas a diferentes escalas y la secuencia paragenética de los minerales presentes.

Los resultados revelaron una distribución heterogénea de los minerales opacos en las muestras con variaciones significativas en la concentración y asociación mineralógica. Estas características tienen implicaciones importantes para la optimización de los procesos de extracción y recuperación de metales valiosos como el zinc, plomo y cobre en operaciones mineras.

Además, se identificaron posibles problemas metalúrgicos relacionados con la presencia de estos minerales, destacando la importancia de un manejo adecuado durante las etapas de procesamiento. Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones sobre la génesis y evolución de depósitos minerales opacos, contribuyendo al avance en la eficiencia y sostenibilidad de la industria minera.

## **ABSTRAC**

This study focused on the mineralogical analysis of samples of opaque minerals, including pyrite, sphalerite, galena, tetrahedrite, chalcopyrite and boulangerite. A detailed characterization of the mineralogical composition, the textures observed at different scales and the paragenetic sequence of the minerals present was carried out.

The results revealed a heterogeneous distribution of opaque minerals in the samples, with significant variations in concentration and mineralogical association. These characteristics have important implications for the optimization of extraction and recovery processes of valuable metals, such as zinc, lead and copper, in mining operations.

In addition, possible metallurgical problems related to the presence of these minerals were identified, highlighting the importance of proper management during the processing stages. This study provides a solid foundation for future research on the genesis and evolution of opaque mineral deposits, contributing to progress in the efficiency and sustainability of the mining industry.

## INTRODUCCIÓN

El análisis mineralógico de muestras de minerales opacos es fundamental para comprender la composición y las características geológicas de depósitos minerales. En este estudio, se examinaron muestras que presentan una variedad de minerales opacos, incluyendo pirita, esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita y boulangerita. Estos minerales son de interés significativo debido a sus implicaciones en la industria minera y metalúrgica, destacándose por sus propiedades económicas y su potencial valor metalúrgico.

El análisis se centró en la identificación de la composición mineralógica de las texturas observadas tanto a nivel macroscópico como microscópico y la secuencia paragenética de los minerales presentes. Además, se evaluaron posibles problemas metalúrgicos derivados de la presencia y distribución de estos minerales en las muestras analizadas. Estos aspectos son cruciales para optimizar los procesos de extracción y recuperación de metales valiosos como el zinc, plomo y cobre, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones mineras.

En este informe se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis detallado de las muestras, proporcionando una base sólida para la comprensión de la génesis y evolución de estos depósitos minerales opacos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento del problema**

El planteamiento del problema se centra en el estudio mineralógico de los yacimientos pórfidos de cobre con el objetivo de comprender mejor su composición, propiedades y potencial minero-económico. El análisis detallado de la mineralogía de estos depósitos puede proporcionar información valiosa sobre sus recursos, procesabilidad y optimización de las técnicas de extracción y beneficio.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles son las principales características mineralógicas del yacimiento pórfido de cobre en la zona central del Perú?

#### **1.2.2. Problema específico**

- ¿Qué minerales de cobre se encuentran presentes en el yacimiento pórfido de cobre en la zona central del Perú?
  
- ¿Cuál es su distribución espacial en el yacimiento pórfido de cobre en la zona central del Perú?
  
- ¿Cómo se relaciona la mineralogía con las propiedades físicas y químicas de los materiales del yacimiento?

### **1.3. Objetivo de la investigación**

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

Analizar las principales características mineralógicas del yacimiento pórfido de cobre en la zona central del Perú.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar un inventario exhaustivo de los minerales presentes en los yacimientos pórfidos de cobre analizando muestras representativas de cada área de estudio.
- Determinar la distribución espacial de los contenidos de minerales de cobre en el yacimiento de pórfido.
- Caracterizar y clasificar los minerales identificados mediante técnicas de análisis avanzadas, tales como microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD) y espectroscopia.

### **1.4. Justificación de la investigación.**

#### **1.4.1. Justificación teórica**

La justificación teórica radica en la importancia de la mineralogía en la comprensión de los yacimientos pórfidos de cobre, ya que permite determinar la calidad, cantidad y disponibilidad de este metal precioso. Además, la mineralogía ayuda a entender cómo los procesos geológicos han generado estos yacimientos únicos y cómo pueden ser explotados de manera sostenible y rentable.

#### **1.4.2. Justificación práctica**

La justificación práctica reside en la necesidad de obtener datos confiables y actualizados sobre la mineralogía de los yacimientos pórfidos de cobre, lo cual facilitará la toma de decisiones correctas por parte de los actores involucrados en la industria minera. Asimismo, la investigación contribuirá a la reducción de costos operacionales, aumentar la recuperación de cobre y minimizar el impacto ambiental durante la explotación de estos recursos naturales.

### **1.5. Hipótesis**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

La caracterización mineralógica detallada del yacimiento pórfido de cobre en la zona central del Perú contribuirá al desarrollo de nuevos conocimientos acerca de la mineralogía de este tipo de depósitos, así como a la optimización de los métodos de explotación y beneficio de estos recursos naturales.

### **1.5.2. Hipótesis específica**

- La identificación y clasificación de los principales minerales presentes en los yacimientos pórfidos de cobre permitirá una mejor comprensión de su composición y distribución espacial.
- La comparación de los resultados obtenidos con otros estudios realizados en yacimientos similares o de gran relevancia mundial permitirá una mejor comprensión de la variabilidad mineralógica de los yacimientos pórfidos de cobre.

## **1.6. Identificación de la variable.**

### **1.6.1. Variable dependiente**

Caracterización mineralógica y distribución espacial de los minerales de interés económico en el yacimiento pórfido de cobre para optimizar los métodos de explotación y beneficio de estos recursos naturales.

### **1.6.2. Variable independiente**

Composición mineralógica detallada y patrones de concentración de minerales de cobre en el yacimiento pórfido de cobre.

### 1.6.3. Operación de la variable

Tabla 1. Operación de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Tipo de variable	Escala de medición
Caracterización mineralógica y distribución espacial de los minerales de interés económico en el yacimiento pórfido de cobre.	Proceso de identificación y análisis de los diferentes minerales presentes en el yacimiento, así como la determinación de su ubicación y concentraciones dentro del depósito.	Se realizarán estudios de campo, muestreos representativos, análisis petrográficos, difracción de rayos X, microscopía electrónica y otras técnicas para caracterizar la mineralogía.  Se mapearán y modelarán las concentraciones de minerales de interés económico en el yacimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipos de minerales identificados</li> <li>Propiedades de los minerales</li> <li>Ubicación espacial de los minerales</li> <li>Zonas de concentración de minerales de interés</li> </ul>	Cualitativa	Nominal Razón
Composición mineralógica detallada y patrones de concentración de minerales de cobre en el yacimiento.	Determinación de todos los minerales presentes, sus proporciones relativas y asociaciones, así como la definición de zonas ricas en minerales de cobre económicamente valiosos dentro del depósito.	La composición mineralógica se establecerá mediante los análisis petrográficos, químicos y de difracción.  Los patrones de concentración se definirán con el mapeo y modelamiento de los datos recolectados sobre distribución de los minerales de cobre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de minerales y % relativo</li> <li>Asociaciones mineralógicas</li> <li>Ubicación de zonas ricas en cobre</li> <li>Leyes o concentraciones de Cu en zonas ricas</li> </ul>	Cualitativa	Nominal Razón

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de investigación**

##### **2.1.1 Artículos científicos**

Kampunzu, 2014, en su investigación titulada: “*Mineralogy and mineral chemistry of oxide-facies copper deposits in the central African copperbelt*” analiza la mineralogía y geoquímica de depósitos de óxidos de cobre en el cinturón cuprífero africano. Mediante datos de campo, petrográficos y geoquímicos caracterizan la alteración, ensambles de minerales y procesos que controlan la concentración del cobre (1).

##### **2.1.2 Tesis nacionales e internaciones**

González, 2010, en su tesis titulada: “*Mineralogía y geoquímica de los yacimientos pórfidos de cobre de la región de Antofagasta*” se enfoca en la caracterización de depósitos pórfidos de la región de Antofagasta, Chile. Mediante estudios de campo, petrográficos y geoquímicos analiza la mineralogía, alteración hidrotermal y controles en la formación de mineralizaciones de cobre en esta prolífica región minera (2).

Flores, 2015, en su tesis titulada: “*Mineralogía y geoquímica de los yacimientos pórfidos de cobre de la región de Cusco*” se enfoca en la caracterización mineralógica y geoquímica de depósitos pórfidos en la región de Cusco, Perú. Mediante estudios petrográficos, de difracción de rayos X y análisis químicos define los ensambles de minerales y firmas geoquímicas en estos sistemas hidrotermales andinos (3).

Aguilera, 2007, en su tesis denominada: “*Procesos geológicos relacionados con la formación de sulfuros de Cu primarios de los yacimientos estratoligados de Cu: el caso del yacimiento Lince-Estefanía, distrito Michilla, segunda región de Antofagasta, Chile*”, menciona que la asociación mineralógica calcosina-digenita y calcosina-digenita-bornita, se presentan en gran abundancia en el yacimiento y representan el principal evento de

mineralización de sulfuros de Cu primarios. Las características mineralógicas, de relaciones texturales y composición química de los minerales de mena primarios (calcopirita, calcosina-digenita y bornita), indican que estas especies, presentes en los distintos cuerpos de mena (mantos, brechas, vetas), se formaron a partir de un mismo proceso de mineralización (4).

Huaman, Bustamante y Gálvez, 2014, en la investigación titulada: “*Mineralización supérgena del pórfido Cu-Au-Mo, proyecto Ocaña, Arequipa-Perú*” menciona que los depósitos de pórfido contribuyen a la mitad del metal extraído en todo el mundo y representan el 65 % de la producción mundial de cobre, más de cien años de exploración e investigación lo respaldan y proporcionan una excelente comprensión de su geología y geoquímica, por lo que su estudio es fundamental en las ciencias geológicas dedicadas a la exploración y búsqueda de este tipo de yacimientos (5).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Microscopia aplicada**

La microscopia definida para este trabajo es la microscopia de carácter óptica y de polarización, ambas siendo estudiadas (6). (véase anexo 1)

### **2.2.2. Microscopia óptica**

Es un equipo muy valioso para realizar investigaciones geológicas; el cual nos permite describir, identificar e identificar minerales, alteraciones y asociaciones mineralógicas. Al realizar el uso de luz reflejada de manera directa se trabaja en microscopia óptica de campo claro (6).

### **2.2.3. Microscopia de polarización**

El estudio de minerales a través del microscopio de polarización es relativamente diferente al estudio macroscópico; Los microscopios de polarización denotan 2 un sistema de luz reflejada para el análisis de minerales opacos y luz transmitida para minerales transparentes (6).

### **2.2.4. Elaboración de muestras**

Los minerales anisótropos son cortes basales que muestran secciones circulares o indicadores perpendiculares. Entre nicoles cruzados y minerales isotropos (7). (véase anexo 2)

### **2.2.5. Análisis con luz ortoscópica transmitida**

Los análisis de luz ortoscópica transmitida se desarrolla según los estudios de nicols paralelos y nicols cruzados donde se analizan múltiples propiedades, entre características físicas y químicas. (véase anexo 3)

### **2.2.6. Propiedades ópticas analizadas por luz reflejada**

Se puede determinar: color, reflectancia, birreflectancia y pleocroísmo en nicols paralelos; así mismo la anisotropía y reflexiones internas en nicols cruzados. (véase anexo 4)

### **2.2.7. Propiedades físicas y morfológicas que se estudian con luz reflejada**

Estas propiedades son clivaje, tamaño, forma, maclas, zoneamiento, microdureza Vickers. Entre estos, la microdureza Vickers y el tamaño se pueden medir cuantitativamente. (véase anexo 5)

### **2.2.8. Mantenimiento y preparación de las secciones pulidas**

Secciones pulidas requieren cuidado. Limpieza con kleenex y alúmina. Repulir si oxidadas o rayadas. véase anexo 6)

### **2.2.9. Intercrecimiento**

En el estudio de rocas, se analizan tamaño, forma y relaciones. Términos clave: textura, estructura, trama e intercrecimiento. (véase anexo 7)

## **2.3. Definición de términos básicos**

- **Anhedral:** son aquellos cristales con caras irregulares, principalmente a un enfriamiento muy rápido y/o ausencia de espacio.
- **Cataclástica:** son rocas que presentan altos grados de deformación producto del metamorfismo.
- **Epigenéticos:** es el proceso en cual el mineral se formó posteriormente a las rocas encajonantes.
- **Estilolitos:** es el contacto irregular en rocas carbonatadas.
- **Euhedrales:** son cristales que presentan sus caras bien desarrolladas.
- **Fotomicrografías:** es una técnica con distancia corta de enfoque al objetivo, para la obtención de imágenes con una ampliación mínima de 10 veces.

- **Gangas:** son las sustancias minerales que se presentan en la mena con nulo valor económico.
- **Habito musgoso:** presenta una formación que cubre una determinada superficie en forma de musgos.
- **Hipógena:** originado en las profundidades, formado por soluciones ascendente, mayormente hidrotermales.
- **Intersticios:** es el espacio entre las estructuras cristalinas.
- **Microfractura:** Es una fisura en la parte interna de un cristal que no se puede ver a simple vista.
- **Mineralogía:** es la ciencia dedicada al estudio de la composición, estructura cristalina, propiedad y génesis de los minerales.
- **Pirita diploédrica:** es la cristalización de la pirita con cristales con 12 caras (dodecaedro).
- **Pseudomorfosis:** es el fenómeno en el cual los minerales adoptan su forma cristalina distinto al que corresponde naturalmente en su composición química.
- **Singenéticos:** es el proceso en el cual el mineral se formó conjuntamente con las rocas encajonantes.
- **Supérgena:** proceso de cambio de la mineralogía hipógena a condiciones oxidantes en proximidades a la superficie

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método, tipo y nivel de la investigación**

#### **3.1.1. Método general**

El método general de la investigación es científico.

#### **3.1.2. Tipo de investigación**

La presente investigación es aplicada.

#### **3.1.3. Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo.

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es del tipo no experimental.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

El yacimiento de pórfido de cobre a estudiar está ubicado en la zona centro del Perú.

#### **3.3.2. Muestra**

Muestras de roca extraídas del yacimiento que contengan minerales de alto interés.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

- ✓ Recopilación de datos de campo
- ✓ Observación e interpretación
- ✓ Análisis de la caracterización mineralógico
- ✓ Análisis de la distribución del tamaño de partícula
- ✓ Estado de registro de datos.
- ✓ Revisión bibliográfica.

#### **3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- ✓ Microsoft Excel
- ✓ Libros
- ✓ Fichas
- ✓ Bibliografías de Internet
- ✓ PC
- ✓ Tablas estadísticas
- ✓ Microscopia óptica
- ✓ Lampara
- ✓ Diafragma de campo
- ✓ Polarizador
- ✓ Lentes condensadores inferiores y superiores fijas
- ✓ Microscopia electrónica de barrido.
- ✓ Otro

### **3.5. Metodología de la investigación**

**Tabla 2. Metodología de la investigación**

Metodología	
Enfoque de la investigación	Cualitativo
Tipo de investigación	Básico
Nivel de investigación	Descriptivo
Métodos de investigación	No experimental
Diseño de investigación	No experimental transversal descriptivo
Población	El yacimiento de pórfido de cobre a estudiar está ubicado en la zona Centro del Perú.
Muestra	Unidad de análisis Tamaño muestra Selección muestra
	Muestras de roca extraídas del yacimiento que contengan minerales de alto interés.
Instrumentos de recolección de datos	Fichas de identificación de muestras de roca con datos de localización exacta y características de afloramiento. Equipos para testeo y medición in situ de composición mineral: detectores de metales, rayos X, etc. Herramientas de extracción y almacenamiento de testigos y/o muestras de mano de roca. Equipos, reactivos y materiales para análisis mineralógicos, petrográficos y químicos en laboratorio.
Técnicas de recolección de datos	Considerando un muestreo probabilístico estratificado, podrían extraerse entre 10-40 muestras que representen adecuadamente la composición mineralógica en las zonas con mayor potencial económico del yacimiento. Mediante un muestreo sistemático a intervalos determinados a lo largo de perfiles definidos en el área total del yacimiento.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de coordenadas

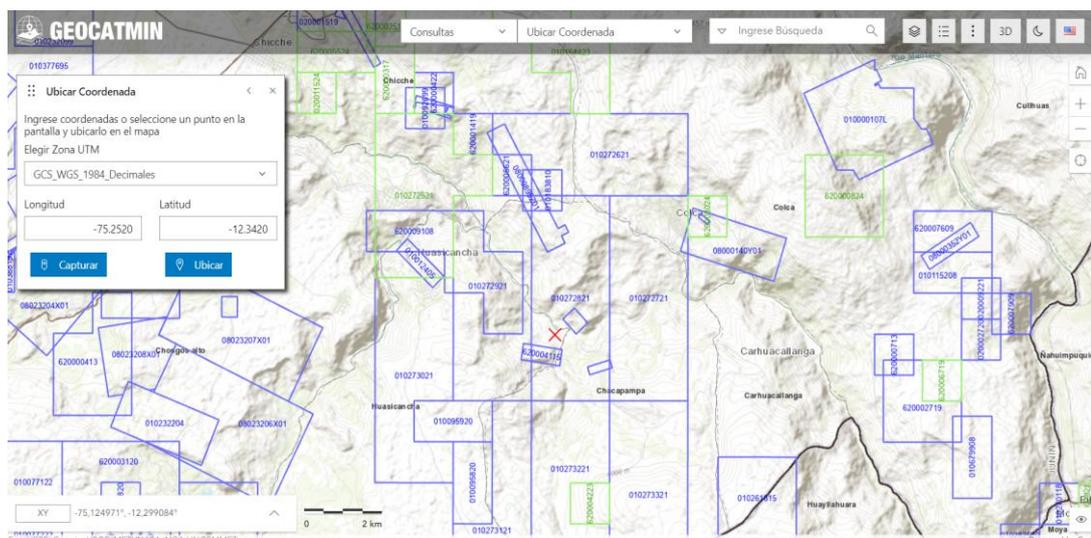
##### 4.1.1 Ubicación específica

- a) Ubicación específica. Perú
- b) Junín
- c) Huancayo
- d) Huasicancha, chacapampa

#### 4.2 Muestra: M-1

##### 4.2.1 Coordenada de muestra 1.

Punto de muestreo 1: Latitud:  $-12.3420^{\circ}$  Longitud:  $-75.2520^{\circ}$



*Figura 1. Punto de muestreo 1  
Tomada de Goecatmin*

## **4.2.2 Mineralogía**

Esta muestra se halla integrada por los siguientes minerales opacos: pirita, tetrahedrita, boulangerita, esfalerita, arsenopirita.

## **4.2.3 Descripción microscópica**

### **4.2.3.1. Pirita (FeS<sub>2</sub>)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales y con tamaños menores de 1.60 mm de longitud, cuando se exhiben como aglomerados de microcristales abarcan playas irregulares, de ese modo llegan a tener menores de 1 cm de longitud; se encuentran diseminados en las gangas, pero mayormente conforman microvenillas, las que están asociadas a las gangas, mayormente de cuarzo.

### **4.2.3.2. Rutilo (TiO<sub>2</sub>)**

Cristales con formas euhedrales y con hábito prismático microtabulares están parcialmente aglomerados y de ese modo se hallan incluidos en las gangas; tienen tamaños menores de 0.12 mm de longitud.

### **4.2.3.3. Esfalerita (ZnS)**

Ubicados en los intersticios de las piritas y gangas, a las cuales las ha reemplazado en grado incipiente; presenta formas anhedrales y con tamaños menores de 0.38 mm de longitud; mayormente están como remanentes dentro de las playas de las boulangeritas y tetrahedritas, después de haber sido reemplazadas por éstas.

### **4.2.3.4. Tetrahedrita (Cu,Fe<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)**

Además de estar en los intersticios de las gangas, se halla ubicada en los intersticios de los agregados microgranulares de pirita, consecuencia de esto sus formas son anhedrales y sus tamaños menores de 1.50 mm de longitud.

### **4.2.3.5. Boulangerita (Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub>)**

Íntimamente asociada a la tetrahedrita, a la cual aparentemente las ha reemplazado, por lo que sus formas son anhedrales y están ubicadas en los intersticios de las gangas y de las piritas; como diminutos cristales están dentro de algunas oquedades y fracturas de las piritas, en estos casos sus tamaños son menores de 0.10 mm de longitud.

### **4.2.3.6. Arsenopirita (FeAsS)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales y con hábito prismático y

pseudorómbicos, están dentro de algunos intersticios de las gangas y también están asociados a algunos cristales de pirita, aparentemente siendo reemplazadas por ésta.

#### 4.2.4 Distribución volumétrica porcentual

**Tabla 3. Resultado de muestra 1**

Minerales	Fórmulas	% Hipógenos	% Supérgenos
Arsenopirita	FeAsS	0.03	
Rutilo	TiO <sub>2</sub>	0.01	
Pirita	FeS <sub>2</sub>	15.0	
Esfalerita	ZnS	0.10	
Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	0.20	
Boulangerita	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	0.15	
Gangas		84.5	
		2	
<b>TOTAL</b>			<b>100.0</b>
			<b>0</b>

#### 4.2.5 Textura

Relleno de espacios vacíos y de reemplazamiento.

#### 4.2.6 Paragénesis

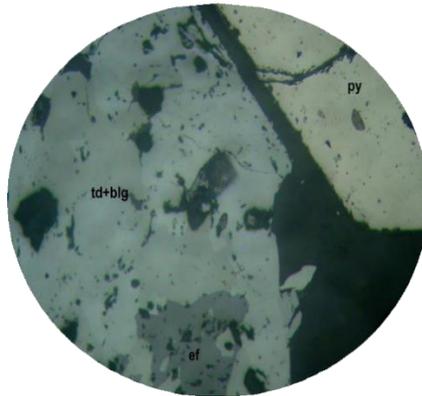
a) Depositación hipógena de los minerales:

- ✓ Rutilo
- ✓ Arsenopirita.
- ✓ Pirita.
- ✓ Esfalerita.
- ✓ Tetrahedrita.
- ✓ Boulangerit

#### 4.2.7 Observaciones

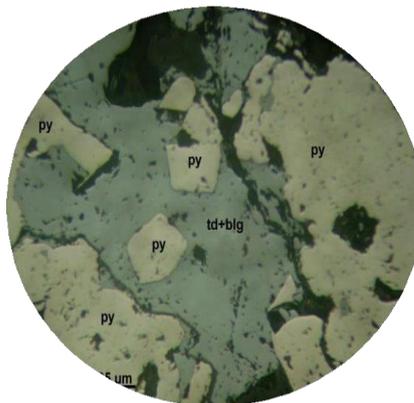
Macroscópicamente en la briqueta pulida se observa la disposición algo bandeada de los minerales, posiblemente, veta de cuarzo con sulfuros.

#### 4.2.8 Fotomicrografías



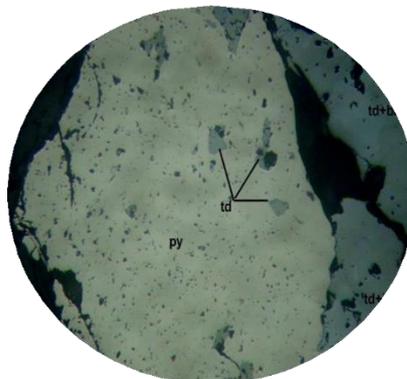
*Figura 2. Primera fotomicrografía de muestra 1  
Tomada de Laboratorio*

Hacia la parte superior derecha, la pirita (py) subhedral, hacia el lado izquierdo de ésta, se halla la tetraedrita reemplazada por la boulangerita (td+blg); y ambas aún reemplazado a la esfalerita (ef). 200X.



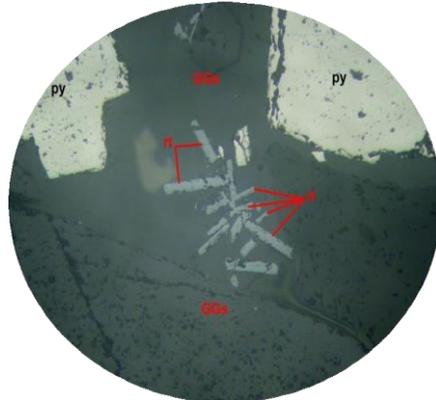
*Figura 3. Segunda fotomicrografía de muestra 1  
Tomada de Laboratorio*

Cristales subhedrales y anhedrales de pirita (py) parcialmente reemplazados por tetraedrita reemplazada por la boulangerita (td+blg). 200X



*Figura 4. Tomada de Laboratorio  
Tomada de Laboratorio*

Cristal anhedral de pirita (py) con algunas oquedades rellenas por la tetraedrita (td); hacia la derecha se observan a las tetraedritas reemplazadas por la boulangerita (td+blg), son anhedrales. 200X.



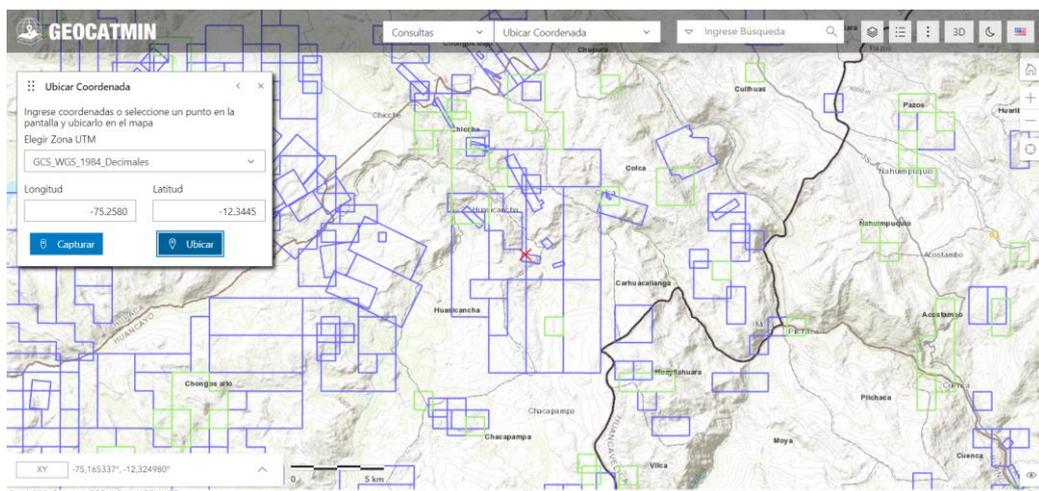
**Figura 5. Cuarta fotomicrografía de muestra 1  
Tomada de Laboratorio**

Cristales subhedrales de pirita (py) y cristales euhedrales de rutilo (rt) con hábito tabular prismático incluidos en las gangas (GGs). 200X.

### 4.3 Muestra: M-2

#### 4.3.1 Coordenada de muestra 2

Punto de muestreo 2: Latitud: -12.3445° Longitud: -75.2480°



**Figura 6. Punto de muestreo 2  
Tomada de Geocatmin.**

#### 4.3.2 Mineralogía

Los minerales determinados en esta muestra son los siguientes: pirita, esfalerita, galena, tetraedrita, arsenopirita, boulangerita, calcopirita.

### **4.3.3 Descripción microscópica**

#### **4.3.3.1. Arsenopirita (FeAsS)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales y con tamaños menores de 0.248 mm de longitud; se encuentran incluidas en las gangas; otras, con hábito de diminutos cristales se hallan incluidos en las esfaleritas, en este caso sus tamaños son menores de 0.024 mm de longitud, lo cual será un problema metalúrgico.

#### **4.3.3.2. Calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>)**

Este mineral en forma de diminutos granos, se hallan muy dispersos en algunos cristales de esfalerita, a semejanza de gotas de lluvia; sus tamaños son menores de 0.028 mm de longitud, presentan hábito algo redondeados y otros, en menor porcentaje están como cristales alargados, esto ocurre porque están ubicados en los clivajes de la esfalerita, por lo que presentan cierta orientación. Este mineral también será un problema para la recuperación del zinc sin valores de cobre.

#### **4.3.3.3. Pirita (FeS<sub>2</sub>)**

Cristales fuertemente corroídos y reemplazados por los minerales de formación posterior, caso de la galena, esfalerita y tetrahedrita, dentro de las cuales están como granos muy diminutos; presentan formas que varían de euhedrales a anhedrales y con tamaños menores de 0.500 mm de longitud; por sectores se hallan algo aglomerados, y de ese modo dan lugar a playas menores de 1.10 mm de longitud. Asociados a los otros minerales están ubicados en los intersticios y microfracturas de las gangas.

#### **4.3.3.4. Arsenopirita (FeAsS)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales, además de estar diseminadas en las gangas, están dentro de algunos cristales de esfalerita; sus tamaños son menores de 0.42 mm de longitud; algunos cristales, parcialmente reemplazados por la galena, se halla ubicado en los intersticios de las gangas.

#### **4.3.3.5. Tetrahedrita (Cu,Fe<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)**

Mayormente como remanentes dentro de las galenas, por este motivo, asociada a ésta se encuentran dentro de los intersticios de las gangas; sus tamaños son menores de 0.52 mm de longitud, cuando se hallan como agregados microgranulares llegan a tener hasta los 0.92 de longitud, dando lugar; por sectores, que se presenten como playas irregulares; además de estar ubicadas en los intersticios de las gangas están en los intersticios de las piritas, a las que ha reemplazado de grado moderado fuerte y con reemplazamiento por acción de la galena.

#### 4.3.3.6. Esfalerita (ZnS)

Como agregados granulares conforman playas irregulares y de ese modo están como relleno de los intersticios de las gangas, por lo que sus formas son anhedrales; sus tamaños son menores de 0.90 mm de longitud; sus oquedades se hallan rellenas por la galena, además, por sectores se observan con exsoluciones de calcopirita que están como gotas de lluvia. Cuando está asociada a la pirita, se observa que ha reemplazado a ésta en grado moderado a intenso, por lo que se observan remanentes de pirita dentro de sus playas.

#### 4.3.3.7. Boulangerita (Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub>)

Con formas anhedrales están como remanentes dentro de las playas de la galena, donde por sectores se hallan asociadas a la tetrahedrita, a la cual, posiblemente, la ha reemplazado, ya que son observados como orlas o anillos con envueltas parciales; sus tamaños son menores de 0.100 mm de longitud.

#### 4.3.3.8. Galena (PbS)

Mineral de última etapa de cristalización, se deduce esta afirmación porque se halla envolviendo y reemplazando a las piritas, a la esfalerita, a la arsenopirita, a la tetrahedrita y a la boulangerita; están ubicadas en los intersticios de las gangas; exhiben sus clivajes muy característicos, es decir, de tipo huecos triangulares; han reemplazado también a algunos minerales de ganga.

#### 4.3.4 Distribución volumétrica porcentual

Tabla 4. Resultado de muestra 2

Mineralogía	Fórmulas	% Hipógenos	% Supérgenos
Arsenopirita	FeAsS	0.01	
Pirita	FeS <sub>2</sub>	6.30	
Esfalerita	ZnS	8.90	
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0.06	
Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	3.01	
Boulangerita	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	0.02	
Galena	PbS	19.4 8	
Gangas		62.2 2	
TOTAL			100. 00

#### 4.3.5 Textura

De reemplazamiento y relleno de espacios vacíos.

#### 4.3.6 Paragénesis

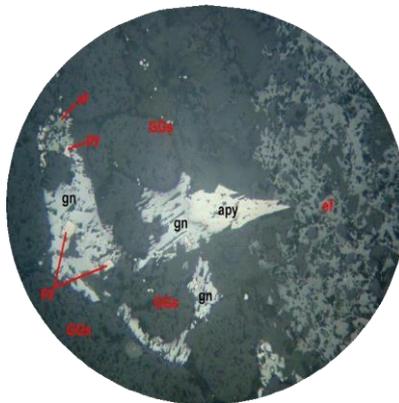
a) Depositación hipógena de los minerales:

- ✓ Arsenopirita
- ✓ Pirita
- ✓ Esdalerita-calcopirita
- ✓ Tetrahedrita
- ✓ Boulangerita
- ✓ Galena

#### 4.3.7 Observación

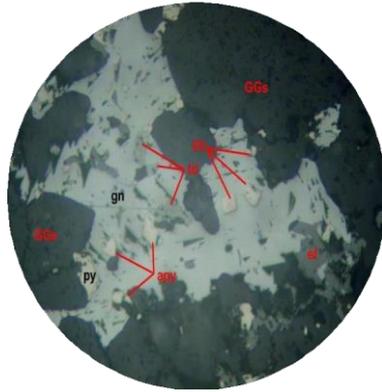
En muestra de mano de la sección pulida, se observan la distribución de los minerales metálicos dentro de los intersticios de las gangas.

#### 4.3.8 Fotomicrografías



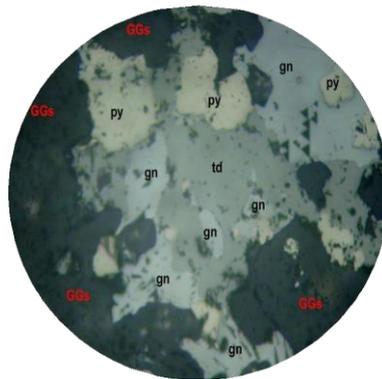
*Figura 7. Primera fotomicrografía de muestra 2  
Tomada de Laboratorio*

Remanentes subhedral de arsenopirita (apy) y de pirita (py) después de haber sido reemplazadas por las galenas (gn) y esfalerita (ef); nótese que estos minerales están ubicados en los intersticios de las gangas (GGs). 100X.



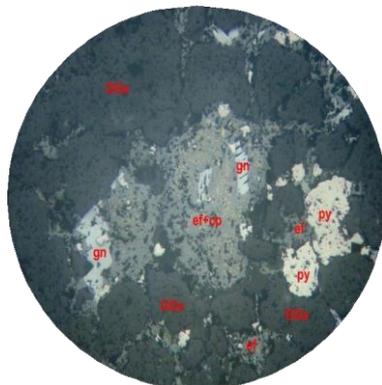
**Figura 8. Segunda fotomicrografía de muestra 2  
Tomada de Laboratorio**

Diminutos cristales euhedrales y subhedrales de pirita (py) dentro de las playas irregulares de galena (gn), donde la esfalerita (ef) también está como remanentes después de haber sido reemplazado por la galena (gn), todos ellos están dentro de los intersticios de las gangas (GGs). 200X.



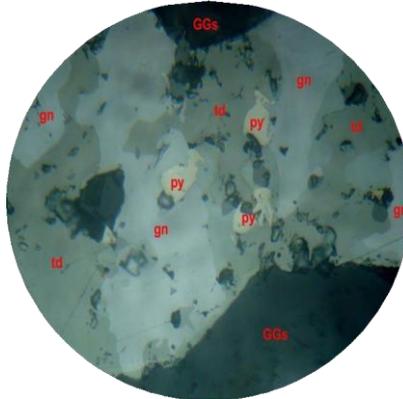
**Figura 9. Tercera fotomicrografía de muestra 2  
Tomada de Laboratorio**

Cristales anhedrales de pirita (py) reemplazados por la tetradrita (td) y galenas (gn), asimismo nótese que la galena (gn) ha reemplazado a la tetradrita (td) y relleno algunas de las oquedades de ésta; en conjunto rellenan los intersticios de las gangas (GGs). 200X.



**Figura 10. Cuarta fotomicrografía de muestra 2  
Tomada de Laboratorio**

Playas irregulares de esfalerita con exsolución de calcopirita (ef+cp), muestra reemplazamiento en grado moderado a la piritita (py), pero está reemplazado por la galena (gn); todos ellos están dentro de los intersticios de las gangas (GGs). 100X.



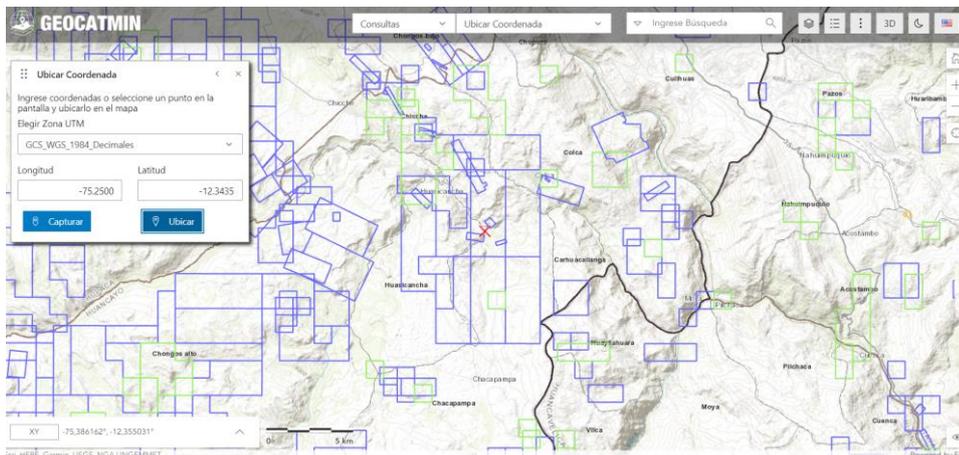
**Figura 11. Quinta fotomicrografía de muestra 2  
Tomada de Laboratorio**

Tetraedritas (td) y piritas (py) reemplazadas por la tetraedrita (td), esto sucede dentro de los intersticios de las gangas (GGs). 50X.

#### **4.4 Muestra: M-3**

##### **4.4.1. Coordenada de muestra 3**

Punto de muestreo 3: Latitud: -12.3435° Longitud: -75.2500°



**Figura 12. Punto de muestreo 3  
Tomada de Geocatmin**

##### **4.4.2. Mineralogía**

Los minerales que se han observado en esta muestra son los siguientes: piritita, esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita.

### **4.4.3. Descripción microscópica.**

#### **4.4.3.1. Pirita (FeS<sub>2</sub>)**

Como agregados microgranulares conforman playas irregulares, de ese modo están ubicados en los intersticios de las gangas; los granos individuales llegar a tener 0.21 mm de longitud; algunos cristales presentan superficies de corrosión. Están parcialmente reemplazados por las galena, esfaleritas y tetraedritas, esto ocurre a partir de sus bordes y de sus intersticios.

#### **4.4.3.2. Esfalerita (ZnS)**

Los agregados microgranulares de esfalerita (forman playas) están como relleno de los intersticios de las gangas y también de los intersticios de las piritas a las cuales los han englobado y reemplazado, por este motivo se observan diminutos cristales de pirita dentro de las playas de las esfaleritas; sus formas son anhedrales y sus tamaños son menores de 1.55 mm de longitud, esta dimensión se ha considerado las playas que están como agregados microgranulares. En algunos sectores muestran exsoluciones de calcopirita.

#### **4.4.3.3. Tetraedrita (Cu,Fe<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)**

Muy dispersos dentro del agregado de esfalerita y galena que rellena los intersticios de las gangas, asimismo de las piritas; de estos minerales, a la pirita y a la esfalerita los ha reemplazado en grado moderado; sus formas son anhedrales y con tamaños menores de 0.40 mm de longitud; en algunos sectores se hallan reemplazados por las galenas, por este motivo, en forma de pequeños cristales se hallan dentro de las playas de la galena, pero con distribución espacial muy dispersa.

#### **4.4.3.4. Galena (PbS)**

Mayormente caracterizado por sus clivajes de pits triangulares, están asociados a las piritas, esfalerita y tetraedrita, a las cuales los han reemplazado de grado moderado a fuerte, consecuencia de ello, algunos cristales de pirita, de esfalerita y de tetraedrita están como islas dentro de sus playas; sus formas son anhedrales y sus tamaños son menores de 1.90 mm de longitud.

#### **4.4.3.5. Calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>)**

Con distribución en forma de exsolución, semejante a las gotas de lluvia, están dentro de la esfalerita; por sectores se muestran algo concentrados, mientras que en otros están muy dispersos; se notan con hábito casi redondeados, pero los que se muestran algo alargados están orientados, posiblemente ubicados en los clivajes de las esfaleritas; sus formas son anhedrales con tamaños menores de 0.025 mm de longitud.

#### 4.4.3.6. Boulangerita (Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub>)

Casi en el orden trazas, se hallan asociadas a las tetrahedrita, y de ese modo está también asociado a la galena, con cierta apariencia de haber sido reemplazado por este mineral; sus formas son anhedrales y sus tamaños son menores de 0.050 mm de longitud.

#### 4.4.4. Distribución volumétrica porcentual

Tabla 5. Resultado de muestra 3

Mineralogía	Fórmulas	% Hipógenos	% Supérgeos
Pirita	FeS <sub>2</sub>	5.09	
Esfalerita	ZnS	14.5	
Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	0.36	
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0.40	
Galena	PbS	9.73	
Boulangerita	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	Trz	
GGs		690	
		87	
TOTAL			100.00

#### 4.4.5. Textura

Relleno de espacios vacíos y de reemplazamiento.

#### 4.4.6. Paragénesis

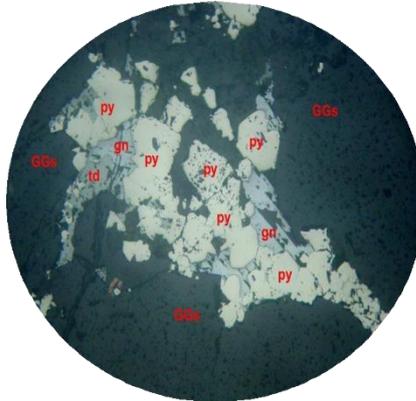
a) Depositación hipógena de los minerales:

- ✓ Pirita
- ✓ Esfalerita – Calcopirita
- ✓ Tetrahedrita
- ✓ Boulangerita
- ✓ Galena

#### 4.4.7. Observaciones

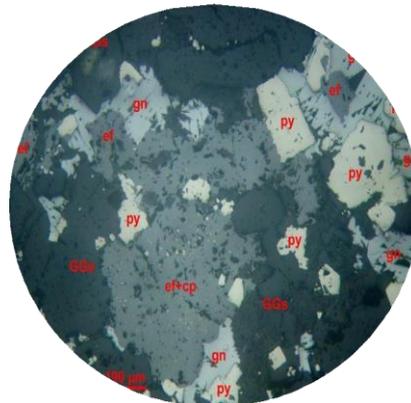
Macroscópicamente, en la sección pulida, se aprecia a los minerales metálicos dentro de los intersticios de los minerales transparentes, cuya distribución se asemejan a las eses de las cadenas.

#### 4.4.8. Fotomicrografías



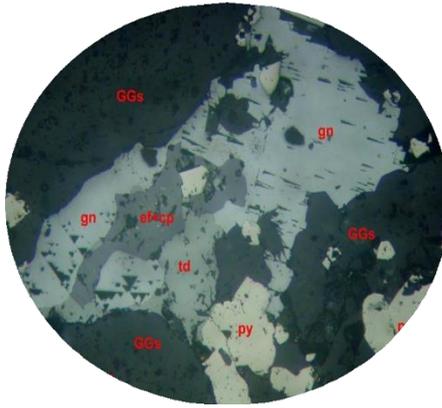
*Figura 13. Primera fotomicrografía de muestra 3  
Tomada de Laboratorio*

Piritas (py) con formas que varían de euhedrales a anhedrales están englobados y reemplazados por la tetraedrita (td) y por la galena (gn), lo cual ocurre a partir de los intersticios de las piritas (py), también todo el conjunto está dentro de los intersticios de las gangas (GGs). 100X.



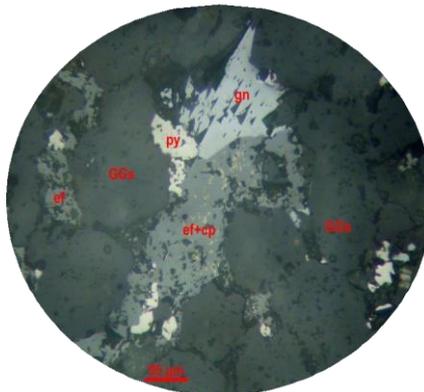
*Figura 14. Segunda fotomicrografía de muestra 3  
Tomada del Laboratorio*

Esfalerita con exsolución de calcopirita (ef+cp) ubicado en el intersticio de las gangas (GGs), ha englobado y reemplazado a las piritas (py), las que presentan formas euhedrales a anhedrales, también están reemplazadas por la galena (gn), que a su vez reemplazó a la esfalerita (ef) a partir de sus bordes e intersticios. 100X.



**Figura 15. Tercera fotomicrografía de muestra 3  
Tomada de Laboratorio**

Intersticios de las gangas (GGs) rellenas por la galena (gn) que ha reemplazado intensamente a la esfalerita (ef) y a la pirita (py); nótese los granos de pirita con formas que varían de subhedrales a anhedrales en parte también reemplazada por la tetradrita (td) que está en el contacto entre la esfalerita con exsolución de calcopirita (ef+cp) con la ganga (GGs). 100X.



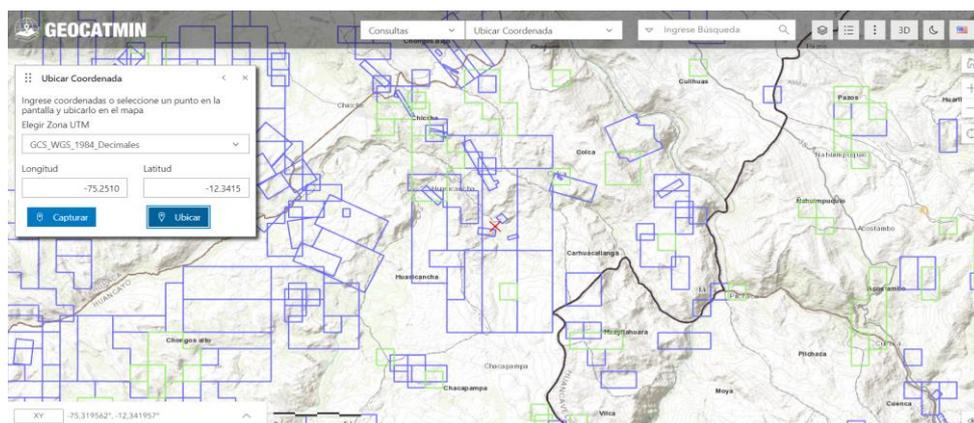
**Figura 16. Cuarta fotomicrografía de muestra 3  
Tomada del Laboratorio**

Intersticios de las gangas (GGs) rellenas por la asociación de pirita (py) reemplazada por la esfalerita con exsolución de la calcopirita (ef+cp), la cual también ha sido reemplazada por la galena (gn). 200X.

#### **4.5 Muestra: M-4**

##### **4.5.1. Coordenada de muestra 4**

Punto de muestreo 4: Latitud: -12.3415° Longitud: -75.2510°



**Figura 17. Punto de muestreo 4  
Tomada de Geocatmin**

#### **4.5.2. Mineralogía**

Los minerales que integran esta muestra son los siguientes: pirita, esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita,

#### **4.5.3. Descripción microscópica.**

##### **4.5.3.1. Tetraedrita (Cu,Fe<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)**

Con formas anhedrales están asociadas a las esfaleritas y a las piritas, a las cuales las han reemplazado en grado moderado a fuerte; están ubicadas en los intersticios de los intersticios de las gangas; dentro de algunos cristales de galena están como islas después de haber sido reemplazados por este mineral; los tamaños que presentan los cristales de tetraedrita son menores de 0.12 mm de longitud.

##### **4.5.3.2. Pirita (FeS<sub>2</sub>)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales y con tamaños menores de 0.40 mm de longitud; cuando están como agregados microgranulares conforman playas que llegan a tener hasta 1.00 mm de longitud; se encuentran ubicados en los intersticios de las gangas. En forma de diminutos cristales se encuentran dentro de algunas playas de la galena y de la esfalerita, esto ocurre después de haber sido reemplazado por estos minerales.

##### **4.5.3.3. Esfalerita (ZnS)**

Ubicados en los intersticios de las gangas, se hallan ampliamente distribuidos en la muestra, por este motivo presentan formas anhedrales; sus tamaños son menores de 0.70 mm de longitud; cuando se hallan en forma de agregados, llegan a conformar playas irregulares que llegan a tener hasta 1.50 mm de longitud; en sectores de observa que han reemplazado parcialmente a las piritas variando de grado incipiente a fuerte, por ese motivo también han englobado a las piritas.

#### 4.5.3.4. Calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>)

Este mineral se encuentra en exsolución en algunas esfaleritas, por este motivo por sectores se observan con concentraciones de microcristales de calcopirita dentro de las playas de la esfalerita, donde aparecen como gotas de lluvia; sus formas son anhedrales y con tamaños menores de 0.020 mm de longitud.

#### 4.5.3.5. Boulangerita (Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub>)

En el orden de trazas, se hallan asociadas a las tetraedritas y a las galenas, con ambos minerales ocurren con cierta apariencia de estar intercrecidos, pero no es así, con la tetraedrita está como anillo entrecortado, mientras que con la galena, aparece como remanente después de haber reemplazado por este mineral; sus formas son anhedrales; tienen tamaños menores de 0.040 mm de longitud.

#### 4.5.3.6. Galena (PbS)

Al igual que el resto de los minerales se halla ubicado en los intersticios de las gangas, donde han reemplazado y englobado a las piritas, también a las esfaleritas; está caracterizado por sus maclas muy típica, de pits triangulares; por sectores se hallan como relleno de algunas oquedades de las piritas y de las esfaleritas, donde se muestran como granos muy pequeños, los cuales serán problemas metalúrgicos durante el proceso de la recuperación de sus metales.

#### 4.5.4. Distribución volumétrica porcentual

**Tabla 6. Resultado de muestra 4**

Mineralogía	Fórmulas	% Hipógenos	% Supérgenos
Pirita	FeS <sub>2</sub>	10.6 0	
Esfalerita	ZnS	12.7 0	
Galena	PbS	6.80	
Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	0.20	
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0.51	
Boulangerita	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	Trz	
Gangas		69.0 9	
TOTAL			100. 00

#### 4.5.5. Textura

Relleno de espacios vacío y de reemplazamiento.

#### 4.5.6. Paragénesis

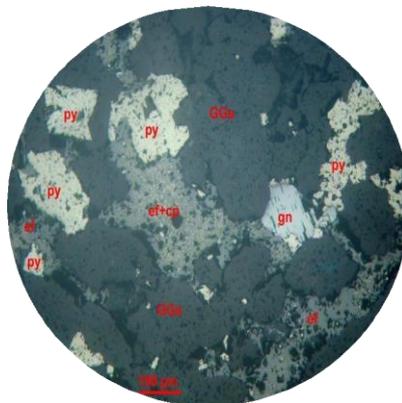
a) Depositación hipógena de los minerales:

- ✓ Pirita
- ✓ Esdalerita – calcopirita
- ✓ Tetraedrita
- ✓ Boulangerita
- ✓ Galena

#### 4.5.7. Observaciones

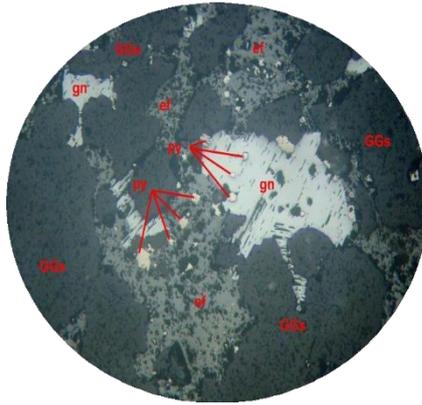
Macroscópicamente, en sección pulida, se observa la distribución intersticial de los minerales descritos, pero en un porcentaje menor están como relleno de microfracturas.

#### 4.5.8. Fotomicrografías



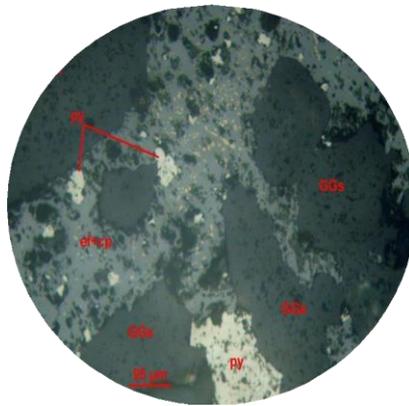
*Figura 18. Primera fotomicrografía de muestra 4  
Tomada de Laboratorio*

Esfalerita con exsoluciones de calcopirita (ef+cp) reemplazada por la galena (gn) y a su vez reemplaza a la pirita (py); la galena (gn) reemplaza también a la pirita (py); están como relleno de los intersticios de la ganga (GGs). 100X.



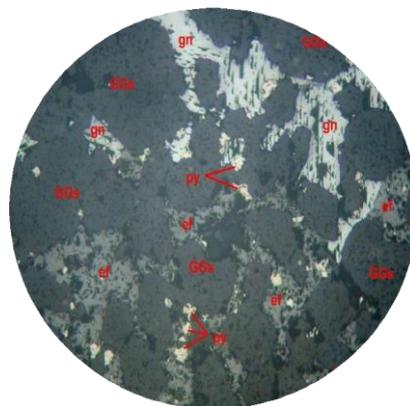
**Figura 19. Segunda fotomicrografía de muestra 4  
Tomada de Laboratorio**

Esfalerita (ef) y galena (gn) han reemplazado fuertemente a la pirita (py), la cual ha quedado como remanente; están como relleno de los intersticios de las gangas (GGs). 200X.



**Figura 20. Tercera fotomicrografía de muestra 4  
Tomada del Laboratorio**

Pirita (py) intensamente reemplazada por la esfalerita con exsoluciones de calcopirita (ef+cp), se encuentran como relleno de los intersticios de las gangas (GGs). 200X



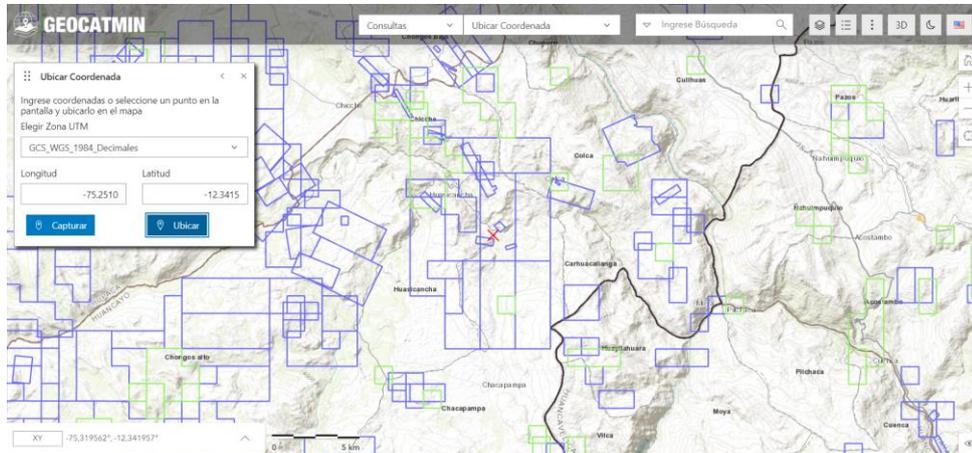
**Figura 21. Cuarta fotomicrografía de muestra 4  
Tomada del Laboratorio**

Asociación de pirita (py), esfalerita (ef) y galena (gn) ubicados en los intersticios de las gangas (GGs). 100X.

## 4.6 Muestra: M-5

### 4.6.1. Coordenada de muestra 5

Punto de muestreo 5: Latitud:  $-12.3415^{\circ}$  Longitud:  $-75.2510^{\circ}$



*Figura 22. Punto de muestreo 5  
Tomada de Geocatmin*

### 4.6.2. Mineralogía

Los minerales determinados en esta muestra son los siguientes: pirita, esfalerita, calcopirita, galena, tetraedrita.

### 4.6.3. Descripción microscópica

#### 4.6.3.1. Esfalerita (ZnS)

Presenta dos poblaciones, una de ellas es la que muestra reflexiones internas de color blanco, blanco-amarillento hasta amarillo ligeramente parduzco y no presenta exsoluciones de calcopirita; mientras la otra presenta reflexiones internas de color rojo parduzco claro hasta rojo pardo oscuro casi rojizo, esta última población corresponde a la de la primera generación, presenta exsolución de calcopirita; las esfalerita están ubicadas en los intersticios de las gangas, de ese modo exhiben playas amplias irregulares, los que como agregados granulares llegan a tener hasta 6.80 mm de longitud.

#### 4.6.3.2. Calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>)

Se encuentra en exsolución en la esfalerita de primera generación, es decir, aquellas que presentan reflexiones internas pardo rojizas; la distribución de estas exsoluciones es semejante a las gotas de lluvia, presentándose en mayor concentración en ciertos sectores; sustamaños son menores de 0.020 mm de longitud.

#### **4.6.3.3. Pirita (FeS<sub>2</sub>)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales y con tamaños menores de 0.90 mm de longitud; pero cuando en forma de microgranos aglomerados llegan a tener hasta 2.20 mm de longitud; ubicados en los intersticios de las gangas se encuentran en parte englobados y reemplazados por la esfalerita y por la galena, en otros sectores el reemplazamiento lo ha hecho en grado moderado, por esto se observan piritas en forma de microislas dentro de estos minerales.

#### **4.6.3.4. Galena (PbS)**

Mayormente caracterizada por sus clivajes típicos de pits triangulares, están ubicados en los intersticios de las gangas, donde han reemplazado a las esfaleritas y piritas, lo cual acontece en grado incipiente a intenso, sus tamaños son menores de 1.30 mm de longitud; cuando se hallan en forma de agregados microgranulares llegan tener hasta 4.90 mm de longitud, de ese modo son apreciados en forma de cadenas ligeramente interrumpidas por sectores.

#### **4.6.3.5. Tetraedrita (Cu,Fe<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)**

Con formas anhedrales están ubicados entre los contactos de la ganga con la esfalerita, en los contactos de la esfalerita con la pirita, y además se hallan como relleno de los intersticios de la pirita; sus tamaños son menores de 1.30 mm de longitud. Hay sectores donde se muestran como remanentes dentro de las galenas, esto es como remanentes después de haber sido reemplazado por éste. Como relleno de algunas oquedades de la esfalerita, en ciertas zonas de la muestra, se hallan parcialmente reemplazadas por la galena.

#### **4.6.3.6. Arsenopirita (FeAsS)**

Con formas que varían de euhedrales a anhedrales y con tamaños menores de 0.080 mm de longitud, están muy dispersos en la muestra, en algunos sectores son observados como relleno de algunas oquedades e intersticios de las gangas, en otros están dentro de la galena en contacto con la esfalerita, en este caso han englobado y reemplazado a la pirita. En algunas playas de la esfalerita, con distribución muy dispersa, son observadas diminutos cristales de arsenopirita.

#### **4.6.4. Distribución volumétrica porcentual**

**Tabla 7. Resultado de muestra 5**

Mineralogía	Fórmulas	% Hipógenos	% Supérgeos
Pirita	FeS <sub>2</sub>	3.00	
Arsenopirita	FeAsS	Trz	
Esfalerita	ZnS	41.4 7	
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0.50	
Tetraedrita	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	0.03	
Galena	PbS	25.0 0	
Gangas		30.0 0	
TOTAL			100.00

#### **4.6.5. Textura**

Relleno de espacios vacíos y de reemplazamiento

#### **4.6.6. Paragénesis.**

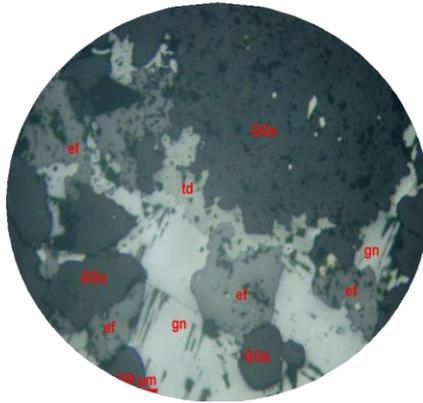
a) Depositación hipógena de los minerales

- ✓ Pirita
- ✓ Arsenopirita
- ✓ Esfalerita I – calcopirita
- ✓ Tetraedrita
- ✓ Esfalerita II
- ✓ Galena

#### **4.6.7. Observaciones**

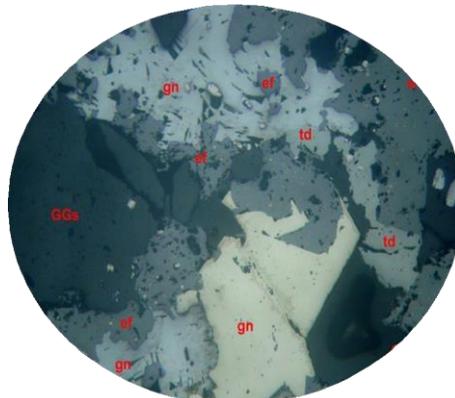
Macroscópicamente, la muestra en sección pulida exhibe a los minerales opacos en los intersticios de las gangas, dentro de los cuales la esfalerita es el mineral predominante.

#### **4.6.8. Fotomicrografías**



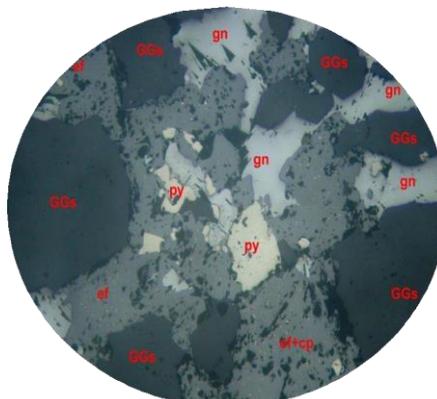
**Figura 23. Primera fotomicrografía de muestra 5  
Tomada del Laboratorio**

Galena (gn) en forma de playas irregulares y amplias han reemplazado a la esfalerita (ef) y a la tetraedrita (td), están como relleno de los intersticios de las gangas (GGs). 100X.



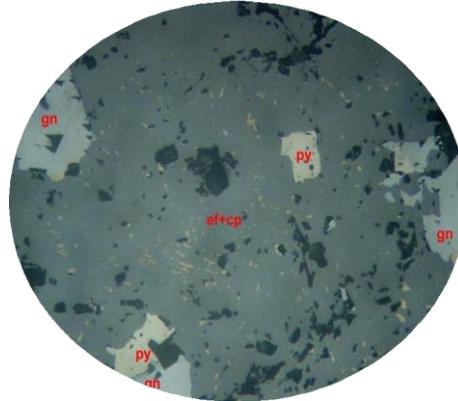
**Figura 24. Segunda fotomicrografía de muestra 5  
Tomada del Laboratorio**

Pirita (py) subhedral y anhedral se encuentra rodeada y reemplazada por la esfalerita (ef), galena (gn) y tetraedrita (td); se nota también que la tetraedrita (td) ha reemplazado a la esfalerita (ef), mientras que la galena (gn) lo hace también con la esfalerita (ef). 100X.



**Figura 25. Tercera fotomicrografía de muestra 5  
Tomada del Laboratorio**

Imagen: Fot. 3. Piritas (py) reemplazadas por la esfalerita con exsolución de calcopirita (ef+cp) y por la galena (gn; están en los intersticios de las gangas (GGs). 100X.



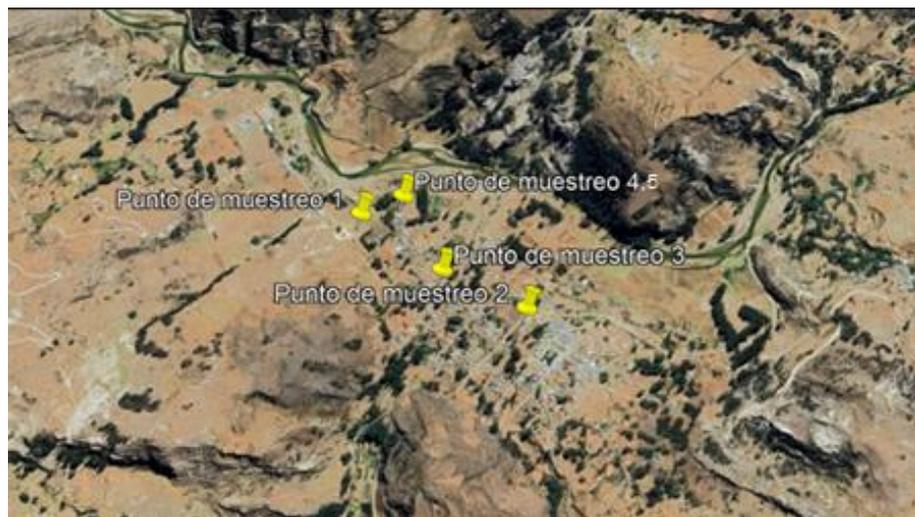
**Figura 26. Cuarta fotomicrografía de muestra 5**  
*Tomada del Laboratorio*

Esfalerita con exsolución de calcopirita (ef+cp) ha reemplazado a la piritita (py), pero muestra oquedades rellenas por la galena (gn). 200X.

#### **4.7 Margen de error**

El margen de error estimado ahora podría ser  $\pm 0.002$  grados en latitud y longitud, lo que equivale a aproximadamente  $\pm 200$  metros en cada dirección.

#### **4.8 Análisis grupal**



**Figura 27. Puntos de muestreo**



**Figura 28. Puntos de muestreo**

## 4.9 Posible propietario

En el marco del análisis geoespacial realizado, se seleccionaron cuatro puntos de interés. Estos puntos fueron ubicados mediante la colaboración de las siguientes herramientas:

- GeocAdmin: Proporcionó datos cartográficos y georreferenciados.
- INGEMMET: Contribuyó con información geológica y topográfica relevante.
- Google Earth Pro: Facilitó la visualización y exploración de la zona.

Tras evaluar los datos disponibles, se identificó que el posible propietario de la zona es Anglo American Perú S.A. Este hallazgo podría tener implicaciones significativas para futuros proyectos o investigaciones en la región.

**Figura 29. Búsqueda de posible propietario Tomada de Ingemmet**

## 4.10 Se puede concluir:

### 4.10.1. Propietario y precaución

- ✓ La presencia de Anglo American Perú S.A. podría tener implicaciones significativas para

futuros proyectos o actividades en la zona. Se debe considerar la posibilidad de acuerdos o conflictos relacionados con la propiedad.

- ✓ Se recomienda precaución debido a la naturaleza disputada de la propiedad de tierras.

#### **4.10.2. Problemas potenciales a futuro**

- ✓ La explotación minera u otras actividades industriales pueden afectar el entorno natural y las comunidades locales. Se deben evaluar los posibles impactos ambientales, sociales y económicos antes de proceder con cualquier proyecto.
- ✓ La gestión de permisos, regulaciones gubernamentales y posibles resistencias comunitarias son desafíos para considerar.

#### **4.10.3. Dificultades en la evaluación**

Evaluar los puntos seleccionados no fue sencillo debido a:

- ✓ Acceso limitado: algunas áreas eran inaccesibles debido a la topografía o vegetación densa.
- ✓ Datos incompletos: la disponibilidad de datos geoespaciales puede variar.
- ✓ Interpretación subjetiva: la interpretación de los datos requiere juicio y experiencia.

En resumen, se debe proceder con cautela, considerando tanto los aspectos legales como los impactos potenciales en la comunidad y el medio ambiente. Además, se recomienda una evaluación más detallada para abordar las dificultades encontradas durante el análisis inicial.

## CONCLUSIONES

1. Composición mineralógica: la muestra está compuesta principalmente por pirita, esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita y boulangerita, con porcentajes variados en cada muestra analizada.
2. Texturas y distribución: los minerales muestran texturas de relleno de espacios vacíos y reemplazamiento, indicando procesos complejos de formación y alteración mineral.
3. Paragénesis: la secuencia de formación sugiere una depositación hipógena de los minerales, con diferentes etapas de cristalización y reemplazo entre los minerales primarios y secundarios.
4. Observaciones macroscópicas y microscópicas: las observaciones macroscópicas revelan una disposición bandeada de los minerales en las briquetas pulidas, mientras que las observaciones microscópicas detallan la distribución dentro de los intersticios de las gangas, con cristales que varían en tamaño y forma.
5. Problemas metalúrgicos potenciales: la presencia de minerales como calcopirita en exsolución dentro de la esfalerita podría representar desafíos durante el proceso de recuperación metalúrgica, debido a la posible contaminación con cobre.
6. Implicaciones metalúrgicas: la intensidad del reemplazo y la distribución de los minerales dentro de las gangas sugieren consideraciones importantes para la recuperación eficiente de los metales presentes, como el zinc, plomo y posiblemente cobre.

## REFERENCIAS

1. KAMPUNZU, Katanga. Mineralogy and mineral chemistry of oxide-facies copper deposits in the central African copperbelt.: Mineralium. *Deposita*, 2014, *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 22 (3), 561-580.
2. GONZÁLEZ, Paula. Mineralogía y geoquímica de los yacimientos pórfidos de cobre de la región de Antofagasta. Tesis (Doctor en Geología). Antofagasta : Universidad de Chile, 2010.
3. FLORES, Raúl. Mineralogía y geoquímica de los yacimientos pórfidos de cobre de la región de Sur del Perú. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cusco: Universidad Nacional de San Agustín, 2015. 134.
4. AGUILERA, Tristán. Procesos geológicos relacionados con la formación de sulfuros de Cu primarios de los yacimientos estratoligados de Cu: el caso del yacimiento Lince-Estefanía, distrito Michilla, segunda región de Antofagasta, Chile. Tesis (Título de Geólogo). Chile - Antofagasta, Universidad de Chile, 2007.
5. HUAMAN, Jhon, BUSTAMANTE, Jonathan y GÁLVEZ, Saúl. *Mineralización Supérgena del pórfido Cu-Au-Mo, proyecto Ocaña, Arequipa-Perú*. Arequipa : Sociedad Geológica del Perú, 2014, Vol. 2. 1 - 5.
6. CHIRIF, Luis. Microscopía Óptica de Minerales. *Boletín N° 1 - Tópicos de Geología*. Lima : Ingemmet, 2010, pp. 1 - 125.
7. UNIFOTOGRAFIA. ¿Qué es la fotomicrografía? [Online] 25Noviembre 2019. [Cited: 2022 Marzo 18.] <https://unifotografia.com/2019/11/25/que-es-la-fotomicrografia/>.

## **ANEXOS**

## **Anexo 1**

### **Microscopia aplicada**

#### **Microscopia óptica:**

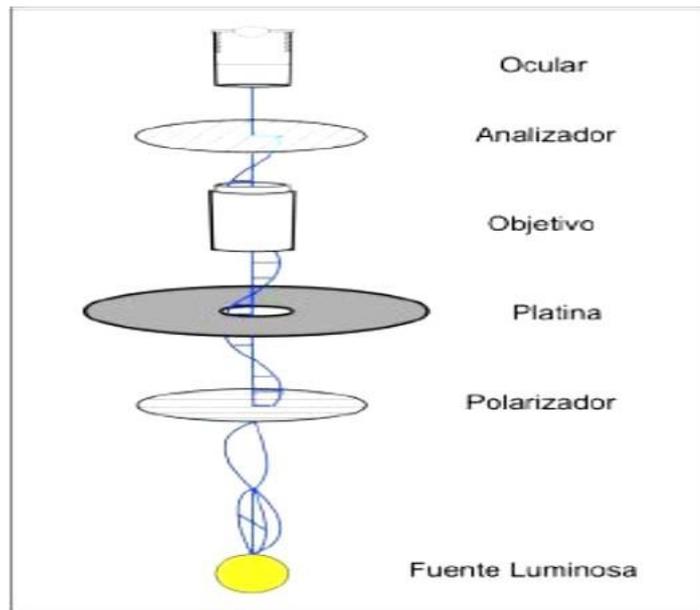
Es un equipo muy valioso para realizar investigaciones geológicas; el cual nos permite describir, identificar e identificar minerales, alteraciones y asociaciones mineralógicas. En donde la microscopia óptica permite identificar la microestructura de las muestras de rocas, minerales y compuestos a través de la interacción con un haz de luz llamados fotones. Para poder visualizar las imágenes es necesario el uso de microscopios ópticos que básicamente se encuentran conformados por:

- ✓ El sistema mecánico que se encuentra conformado por las lentes, las cuales proporcionan el movimiento necesario para el enfoque; así mismo cuenta con una pletina donde se posiciona la muestra.
- ✓ El sistema óptico que está compuesto por un conjunto de lentes, ubicadas de tal manera que aumenta el tamaño de las imágenes observadas a través de ellas.
- ✓ El sistema de iluminación está compuesto por las partes del microscopio que transmiten, regularizan y reflejan la cantidad de luz que se necesita para realizar la observación de las muestras a través del microscopio. Al realizar el uso de luz reflejada de manera directa se trabaja en microscopia óptica de campo claro. (6)

#### **Microscopia de polarización:**

El estudio de minerales a través del microscopio de polarización es relativamente diferente al estudio macroscópico; debido a que algunas propiedades macroscópicas de los minerales son distintas con el microscopio de polarización; así como el color del mineral, no obstante, el relieve puede ser determinada netamente con el equipo antes mencionado.

Es un microscopio compuesto que compone dos polarizadores y una platina giratoria, el primer polarizador se encuentra ubicado antes de la muestra para de esta manera analizar los objetos con luz linealmente polarizada. La platina giratoria proporciona la opción de girar la muestra y de esta manera la dirección de la vibración de luz que se encuentra linealmente polarizada incide en la muestra con diversas orientaciones. El analizador (polarizador) superior se encuentra ubicado entre la muestra y el ocular permitiendo analizar si el mineral analizado tiene la capacidad de variar la dirección de la luz linealmente polarizada. Los microscopios de polarización denotan 2 un sistema de luz reflejada para el análisis de minerales opacos y luz transmitida para minerales transparentes.

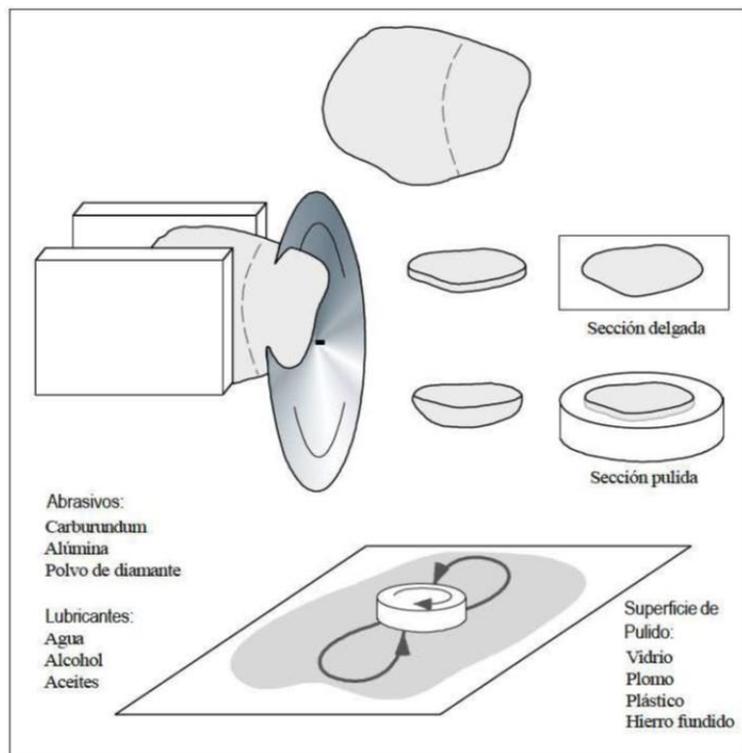


*Esquema de microscopio polarizante.  
Tomada de Ingemmet*

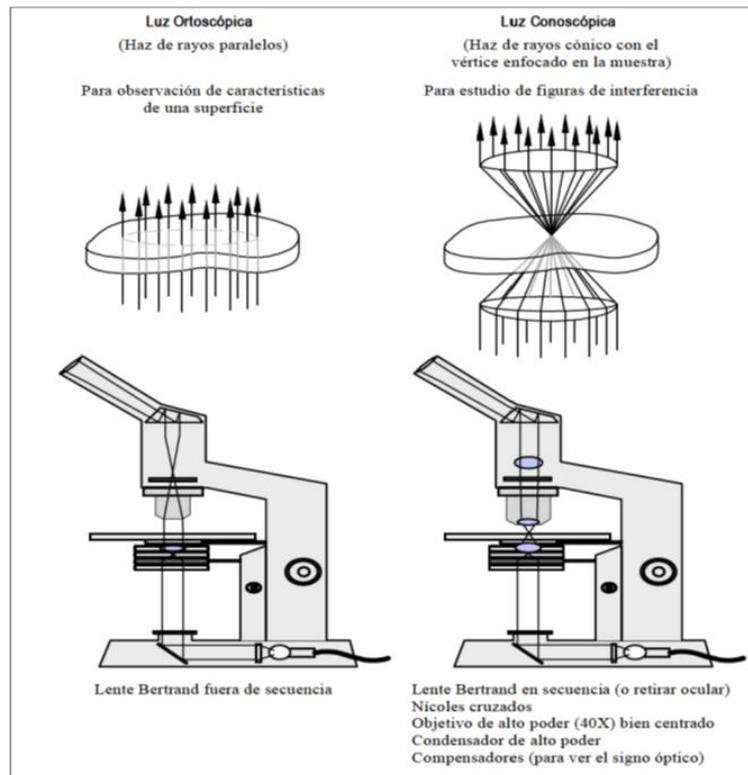
## Anexo 2

### Elaboración de muestras

- En minerales anisótropos En cortes basales, se han de obtener secciones circulares en donde el comportamiento de la “luz linealmente polarizada es similar a la situación deminerales isótropos, y para otro corte se obtendrán secciones con dos indicadores de distintas magnitudes dispuestos en direcciones perpendiculares entre sí (direcciones privilegiadas de un mineral)”. “Cuando la dirección de vibración del rayo linealmente polarizado incidente concuerda con una de las direcciones privilegias de un mineral, el rayo pasara al mineral sin cambiar de dirección de vibración, consecuentemente, entre nicoles cruzados, observaremos el mineral desaparecido”.
- Los minerales isótropos entre nicoles cruzados se apreciarán constantemente desaparecidos. (7)



*Preparación de secciones delgadas y secciones pulidas  
Tomada de Ingemmet*



*Diferencias entre luz conoscópica  
Tomada de Ingemmet*

### Anexo 3

### Análisis de luz ortoscópica

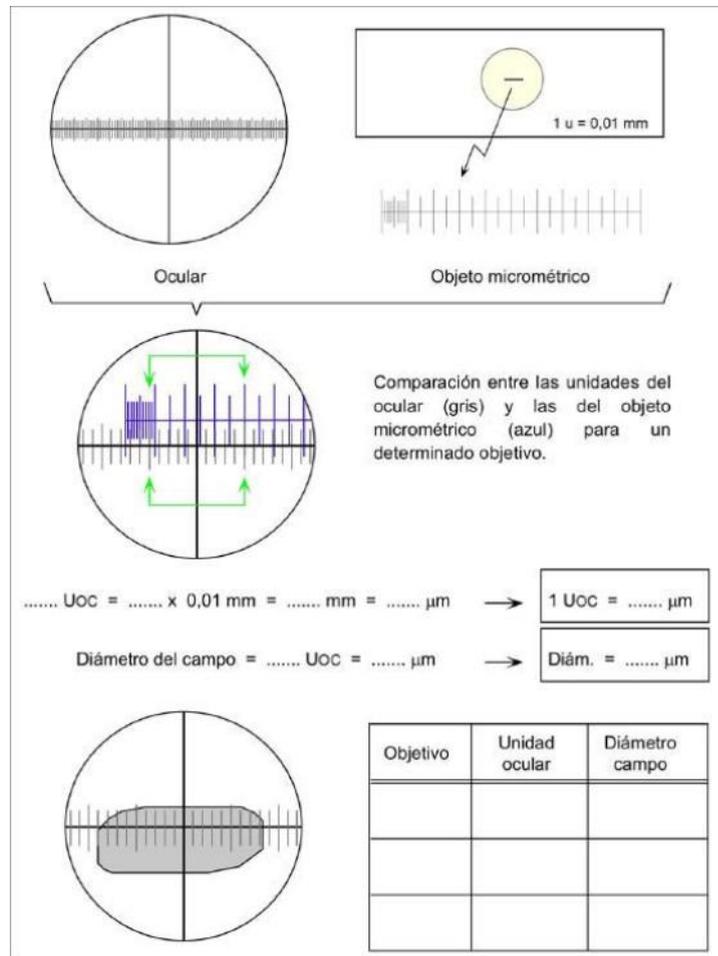
Estudio con Nícoles Paralelos: Se estudia el color, pleocroísmo, tamaño, relieve, morfología y el clivaje. (8)

- **Color:** En un mineral de lámina delgada no presente mucha variación como cuando se observa macroscópicamente, debido a que con un espesor de 30  $\mu\text{m}$  el efecto de las impurezas es irrelevante.
- **Pleocroísmo:** Capacidad de ciertos minerales de mostrar diversos colores; el grado de absorción está en función del espesor de la muestra; consecuentemente, en secciones delgadas de 30  $\mu\text{m}$  será muy distinto a lo observado en muestras más gruesas.
- **Determinación del índice de refracción:** El método principal para la estimación o determinación del índice de refracción de un mineral es la observación de la iluminación oblicua, línea brillante, uso del refractómetro y del relieve. Así mismo, también se puede determinar con el uso del refractómetro.

Relieve	Relieve Negativo	Relieve Neutro	Relieve Positivo		
			Bajo	Medio	Alto
	$n < 1,55$	$\sim 1,55$	1,55-1,60	1,60-1,70	$n > 1,70$
	Nefelina, Zeolitas	Bálsamo de Canadá	Cuarzo, Feldespatos	Apatito, Micas, Carbonatos	Circón, Rutilo, Esfena
Línea de Becke	Aumentar Distancia Objetivo-Objeto				
	$N_{\text{mineral}} < N_{\text{medio}}$	$N_{\text{mineral}} \sim N_{\text{medio}}$	$N_{\text{mineral}} > N_{\text{medio}}$	Línea de Becke hacia material de mayor índice de refracción	
Iluminación Oblicua	Introducir objeto opaco por el lado derecho entre la fuente luminosa y el conjunto subplatina				
	$N_{\text{mineral}} < N_{\text{medio}}$	$N_{\text{mineral}} \sim N_{\text{medio}}$	$N_{\text{mineral}} > N_{\text{medio}}$		

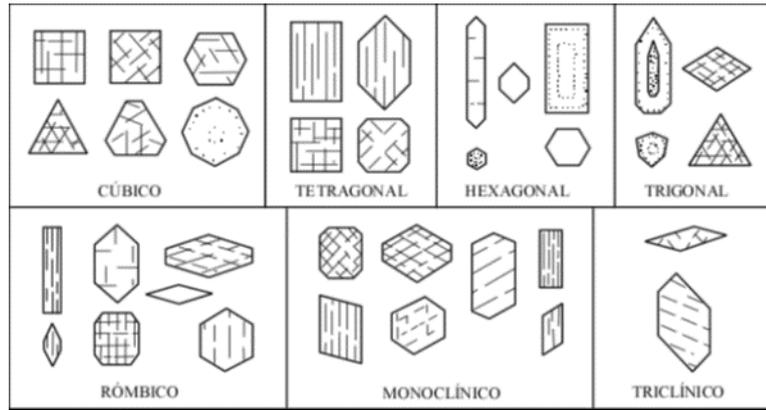
*Métodos para la estimación del índice de refracción relieve (arriba)  
Tomada de Ingemet*

- **Tamaño:** medir el tamaño de los cristales, se requiere saber la medida de las unidades. Conociendo el valor de las unidades del ocular con las de un objeto micrométrico para cada objeto.



**Medición del tamaño de grano.  
Tomada de Ingemmet**

- **Forma:** Desarrollo de sus formas externas de los cristales pueden ser euhedrales, subhedrales o anhedrales. “Son euhedrales o idiomorfos si presentan totalmente formas externas geométricas definidas; son subhedrales o hipidiomorfos si presentan sólo parcialmente dichas formas, y son anhedrales o xenomorfos si no las presentan”  
“La forma de los cristales depende en gran medida de las condiciones medioen que éstos se han desarrollado, y por lo tanto, no es una característica distintiva del mineral”. Por el desarrollo preferencial de una, dos o tres dimensiones, los cristales pueden ser aciculares.

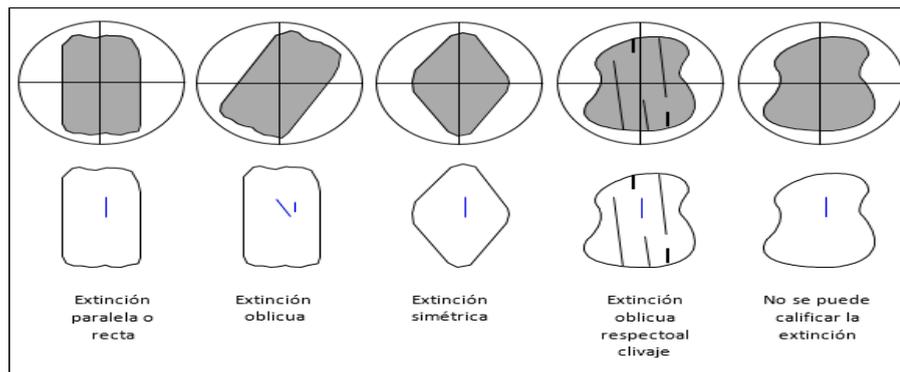


*Formas bidimensionales propias de los diferentes sistemas cristalinios  
Tomada de Ingemmet*

- **Clivaje:** “La calidad del clivaje la podemos calificar como perfecta, buena, mediana, mala, imperfecta o ausente Para el estudio de esta propiedad se debe indicar tanto la calidad como las direcciones; para ello es conveniente buscar cortes perpendiculares al plano de clivaje, esto es, cortes con trazas de clivaje nítidas y finas.

**Estudio con Nicoles cruzados:**

- **Anisotropía:**  
La anisotropía se refiere a la capacidad de ciertos minerales de dejar pasar luz entre nicoles cruzados.
- **Extinción.**



*Tipos de extinción  
Tomada de Ingemmet*

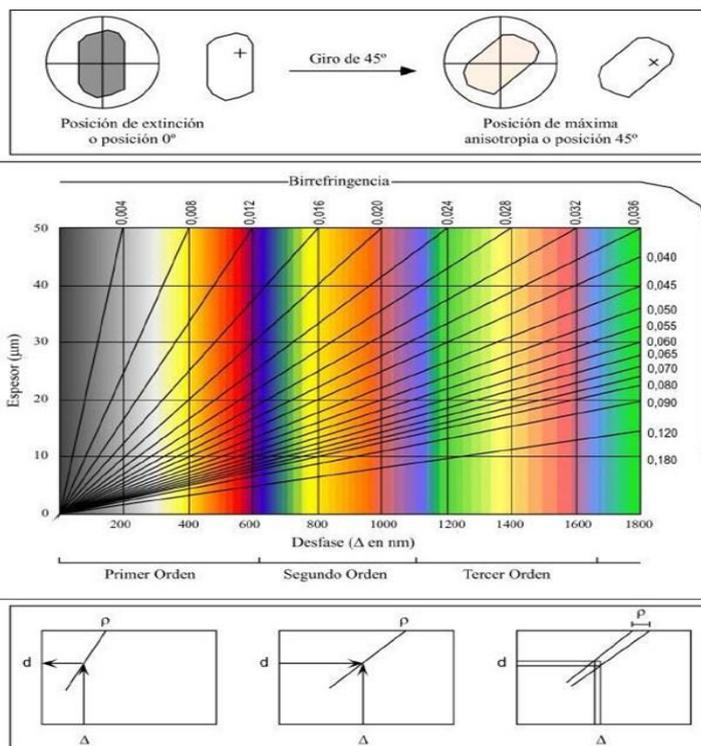
- **Color de interferencia.**  
El color de interferencia depende de la magnitud del desfase y ello depende a su vez de la birrefringencia del mineral y del espesor de la lámina.

	Tetragonal, Hexagonal, Trigonal	Rómbico	Monoclínico	Triclínico
Extinción Paralela	 Apatito Corte // c	 OrtoPX Corte // c	 ANF Corte // b	
Extinción Simétrica	 Circón Corte // c	 OrtoPX Corte ⊥ c	 ANF Corte ⊥ c	
Extinción Oblicua	 Calcita Otros cortes	 OrtoPX Otros cortes	 ANF Otros cortes	 PGLs Todos los cortes

*Tipos de corte de mineral  
Tomada de Ingemmet*

- **Birrefringencia.**

La tabla de Michel-Lévy.

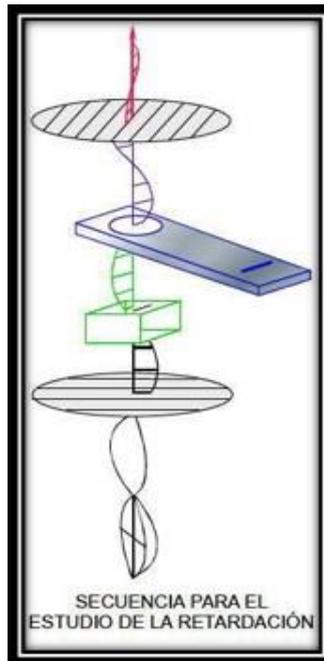


*La tabla de Michel-Lévy  
Tomada de Ingemmet*

- **Compensadores.**

Los compensadores son accesorios ópticos que interponen el paso de los rayos entre los objetos y el analizador para producir retardación. Consisten en la barra de metal con cristales engastados y adecuadamente orientados en la dirección de índice mayor en sentido

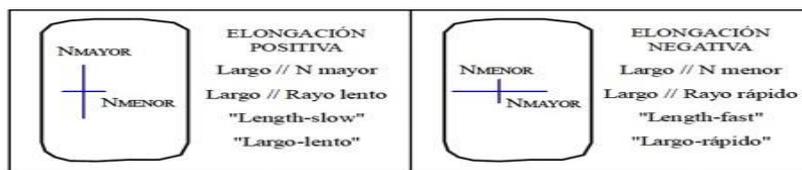
transversal.



*Secuencia para el estudio de la retardación.  
Tomada de Ingemmet*

- **Elongación y diagramas de orientación.**

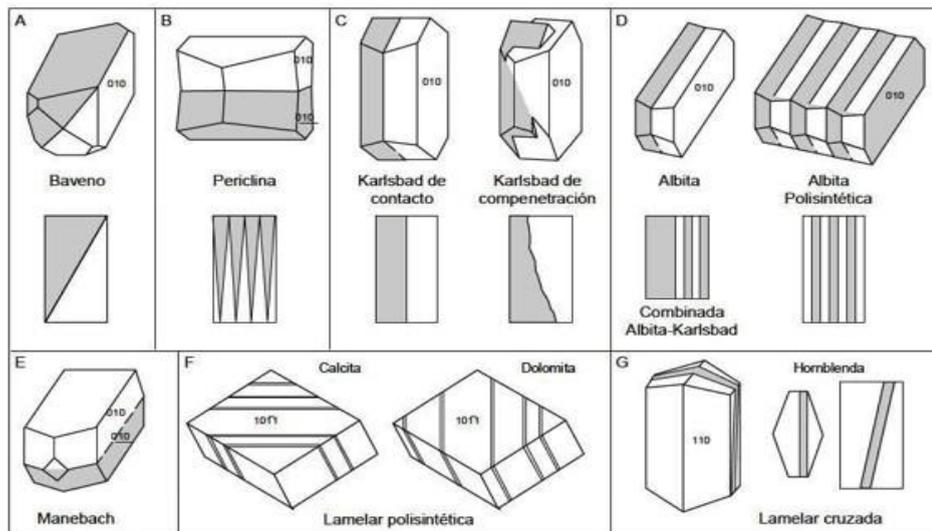
Con el término elongación nos referimos a la relación entre las direcciones de los índices de refracción ya identificados y el largo de un cristal de extinción paralela o su paralela. Si el largo es paralelo al índice mayor, diremos que el mineral tiene elongación positiva o que es «largo-lento», y si el largo es paralelo al índice menor, diremos que tiene elongación negativa o que es «largo-rápido»



*Elongación y diagramas de orientación.  
Tomada de Ingemmet*

- **Maclas.**

La macla es el agrupamiento regular de dos o más individuos de un mismo mineral con diferente orientación y según alguna ley de simetría (plano, eje o centro de macla). La ley de la macla indica el elemento de simetría y su orientación cristalográfica.



*Elongación y diagramas de orientación.  
Tomada de Ingemmet*

- **Desmezclas.**

Las desmezclas son separaciones de un mineral a partir de otro que ha dejado de ser estable. Las desmezclas pueden presentar formas de discos, husos de diferentes tamaños y frecuencia de ocurrencia.

- **Zonamiento.**

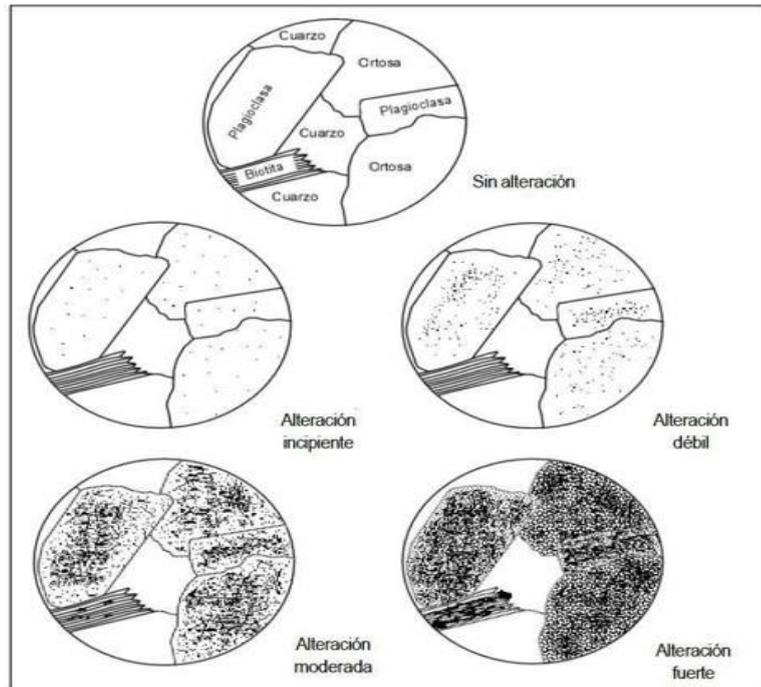
Durante el desarrollo de un cristal se presentan casos de variación de la composición, ya sea a nivel de elementos mayores (caso de series isomórficas) o de elementos de trazas. La variación de la composición se puede evidenciar por la concentración de inclusiones o minerales alterados en determinadas zonas. El zonamiento se evidencia por el cambio de color, pleocroísmo en determinada zona.

- **Inclusiones.**

Las inclusiones son sustancias extrañas atrapadas en un cristal durante su proceso. La naturaleza de las inclusiones y la geometría de la distribución en un cristal da pautas a interpretaciones petrográficas.

- **Alteraciones.**

Los minerales de alteraciones son aquellos que se forman por la descomposición de un mineral preexistente, la alteración comienza a notarse por los bordes de los granos por la debilidad de los granos (clivaje, fracturas) y algunos casos en determinadas zonas.



*Sistemas para la identificación de minerales  
Tomada de Ingemmet*

- **Transparentes.**

Es recomendable el uso de más de una tabla determinada para así basar la identificación en varias propiedades.

- **Alteraciones.**

Los minerales con alteración son formados por la descomposición de minerales antecesores. La alteración se ve reflejada en los bordes y/o planos de debilidad de los granos. Por la naturaleza de los minerales secundarios se denotan las alteraciones propílicas, argílicas, potásica, silíceo, etc; en donde los minerales más alterados debido a su composición.

## Anexo 4

### Propiedades ópticas analizables

- **Color reflectancia:** Se refiere a la coloración de la superficie pulida analizada y la capacidad de reflejar la luz del mineral. Las dos propiedades dependen de la iluminación, color y reflectancia de los granos aledaños, la composición química y calidad de pulido. (9)
- **Birreflectancia y pleocroísmo:** Son observados con nicols paralelos, “ambas propiedades se observan mejor con aceites de inmersión. Los minerales opacos isótropos contienen un valor único de reflectancia, mientras que los anisótropos la reflectancia cambia según el corte del mineral y su posicionamiento en la platina, la diferencia máxima de reflectancia de un mineral es conocido como reflectancia”
- En minerales anisótropos con birreflectancia al girar la platina se observa cambia la intensidad de la luz reflejada, también puede cambiar el color (pleocroísmo).

		En Aire		En Aceite	
		Rmáx Rmin	Colores de Pleocroísmo	Rmáx Rmin	Colores de Pleocroísmo
Fuerte a muy Fuerte	Grafito	26,4	Blanco gris anaranjado	14,9	Blanco grisáceo marrón
		6,2	Gris azulado oscuro	0,5	Negro aterciopelado
	Covelita	23,7	Azul oscuro	9,9	Púrpura
		7,2	Blanco azulado	1,1	Blanco verdoso
	Molibdenita	38,6	Blanco	24,1	Blanco
		19,5	Blanco grisáceo	7,9	Verde oscuro
Pirrotita	39,9	Marrón grisáceo	26,8	Marrón	
	34,8	Crema amarillento	22,2		
Media	Marcasita	56,2	Amarillo claro	42,3	Amarillo claro
		49,1	Amarillo verdoso	34,3	Amarillo verdoso
	Niquelita	51,4	Amarillo claro rosáceo	38,3	Amarillo claro rosáceo
		46,1		33,2	
	Enargita	25,2	Rosado claro	11,7	Gris con tinte marrón
24,2		con tinte marrón	10,9		
Débil a muy Débil	Arsenopirita	52,3	Blanco amarillento	37,6	Blanco
		51,9		37,2	Crema rosáceo
	Calcopirita	45,0	Amarillo		Amarillo
		44,6			Amarillo tinte marrón
	Calcosita	33,5	Blanco	18,3	Blanco azulado
		33,2	Blanco azulado	17,9	

*Birreflectancia y pleocroísmo de algunos minerales observados en aire y con aceite de inmersión.  
Tomada de Ingemmet*

**Reflexiones internas:** Se observan con nicoles cruzados. “Cuando la luz ingresa al interior de los minerales translucidos y se ve reflejada en planos de clivaje, microfracturas, contactos o inclusiones, la parte superficial del grano se verá iluminada con color característico de cada mineral” Esta iluminación es conocida como reflexión interna.

## Anexo 5

### Propiedades físicas y morfológicas con luz reflejada

- **Dureza relativa:** “Es una estimación cualitativa realizada por la comparación del efecto del pulido sobre los minerales que proporcionan diferente resistencia a la abrasión. Los minerales con menor dureza presentan menos relieve que los minerales más duros”. Así mismo, también se puede determinar con las imperfecciones del pulido en donde los minerales de menor dureza presentarán rayas más pronunciadas y los más duros presentarán rayas más tenues y/o discontinuas. (10)
- **Microdureza vickers:** Propiedad susceptible a medirse cuantitativamente el cual se define como la resistencia del mineral a ser penetrado por un extraño cuerpo. La microdureza Vickers se expresa en kg/mm<sup>2</sup>.
- **Forma de los individuos:** Los cristales en función a su formación pueden ser: euhedrales, subhedrales o anhedrales. Para reconocer la forma de los individuos en minerales anisótropos se debe emplear nicols cruzados, debido a que su diferente orientación óptica permitirá diferenciarlos.
- **Intercrecimientos:** Es la relación espacial de los componentes minerales de un agregado, es decir, la principal característica geométrica de la roca. El Intercrecimientos nos proporciona el orden de aparición de los minerales (secuencia paragenética) y nos proporciona información para un adecuado tratamiento metalúrgico.

Color	Mineral	Color	Mineral
Blanco a gris blanquecino	Galena Tennantita Arsenopirita	Blanco amarillento	Pirita Marcasita Rutilo
Gris	Esfalerita Cuarzo Ilmenita Magnetita	Amarillo	Oro Nativo Calcopirita
Azul a gris azulado	Covelita Calcosita Digenita	Crema rosáceo	Pirrotita
		Rosáceo, Rojo a marrón	Bornita Cobre nativo Enargita

*Minerales opacos  
Tomada de Ingemmet*

## **Anexo 6**

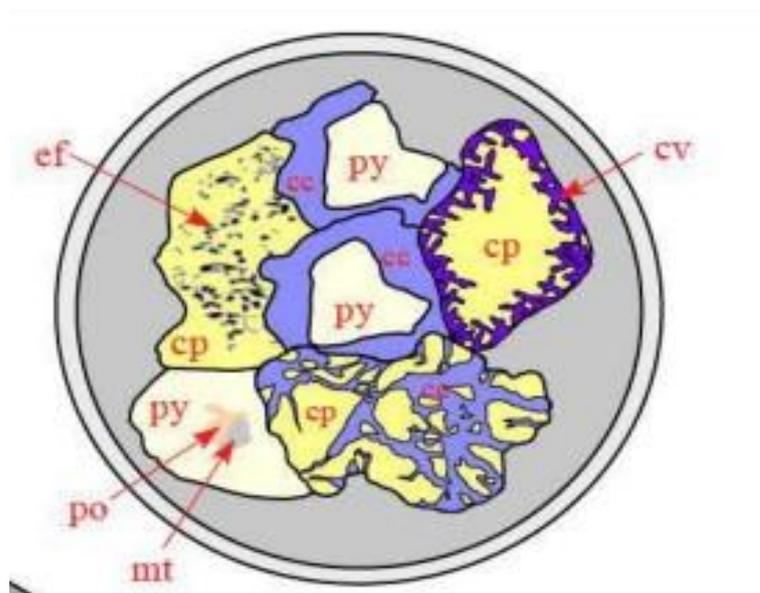
### **Mantenimiento y preparación de las secciones pulidas**

Las secciones pulidas, por tratarse de preparados descubiertos, sufren con relativa facilidad cambios químicos (oxidación) o físicos (rayado), por este motivo se debe tener un especial cuidado en el mantenimiento. Para su limpieza debe utilizarse papel kleenex seco o humedecido en tolueno, en xileno o en alcohol. Una muestra oxidada o muy rayada debe ser nuevamente pulida, para lo cual se emplearán suspensiones de alúmina de granulometría adecuada al rayado o al grado de oxidación colocarse ésta sobre un portamuestra con plastilina y presionar el conjunto con una prensa bien centrada, de esta manera, la superficie pulida quedará dispuesta paralelamente a la superficie de la platina. (11)

## Anexo 7

### Intercrecimiento

En el estudio de las características geométricas de una roca (roca en su sentido más amplio), se consideran diversos aspectos tales como tamaño, forma y relaciones entre los componentes y agregados. Tal complejidad ha llevado a tratar por separado conjuntos de estas características y para ello, se han empleado los términos textura, estructura, trama e intercrecimiento. (12)



*Minerales opacos  
Tomada de Ingemmet*