

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Caracterización mineralógica de los materiales provenientes de Playas de
Daucay del cantón Chilla

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero de Minas

Presentado por:

Gabriel Enrique Morales Fernández

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres ya que su apoyo ha sido un pilar fundamental para mi desarrollo personal, pese a todas las dificultades que se presentaron en la vida siempre me motivaron a salir adelante.

De la misma manera, se lo dedico a las personas cercanas involucradas en la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Cristhian, Elizabeth, Esmilka y Eduardo, por su desinteresada, seria y cordial ayuda en la elaboración de este proyecto.

Agradecimientos especiales Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT) por las pruebas realizadas que contribuyeron a la culminación de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Gabriel Enrique Morales Fernández y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Gabriel Enrique Morales Fernández

EVALUADORES

MSc. José Ricardo Moreno Chávez

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Gloria Elizabeth Peña Carpio

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En Playas de Daucay en el cantón Chilla se realizan explotaciones mineras artesanales, de las cuales los minerales de interés (específicamente el oro) que se extraen no han recibido los estudios mineralógicos apropiados aun cuando el método de explotación y tratamiento mineral dependen de ellos. Por lo tanto, es importante caracterizar mineralógicamente el material extraído de Playas de Daucay, razón por la cual se opta por estimar el porcentaje de los minerales presentes en la muestra a través de técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) con difracción de rayos X y determinar la recuperación de oro mediante cianuración de una muestra de material.

La muestra utilizada fue pre-clasificada visualmente, luego se realizó un ensayo de determinación de pesos específicos para seleccionar las rocas a utilizar en las secciones pulidas. Mediante el ensayo SEM con difracción por rayos X en las secciones pulidas, se estimó el porcentaje de los minerales presentes en la muestra, además, con asistencia de un microscopio petrográfico se pudo corroborar la presencia de los minerales por sus propiedades ópticas. El material pasó a un proceso de conminución para separar muestras por granulometría, las cuales fueron sometidas a procesos de cianuración similares, donde la recuperación promedio de Au fue de 2.6 g/T, que representa el 32% del total de Au. Como dato importante, la abundancia de Pirrotita (altamente magnético), Pirita, Marcasita y Arsenopirita indica un exceso de Fe y S en la mena, que genera un medio muy ácido lo que dificulta la cianuración.

Palabras Clave: Caracterización, Mineralogía, Cianuración, Au

ABSTRACT

In Playas de Daucay, in the Chilla canton, artisanal mining operations are carried out, of which the minerals of interest (specifically gold) that are extracted have not received the appropriate mineralogical studies even when the method of exploitation and mineral treatment depends on them. Therefore, it is important to characterize mineralogically the material extracted from Playas de Daucay, it is also decided to estimate the percentage of the minerals present in the sample through scanning electron microscopy (SEM) techniques with X-ray diffraction and determine the Gold recovery by cyanidation of a sample of material.

The sample used was visually pre-classified, and then a specific weight determination test was performed to select the rocks to be used in the polished sections. By the SEM test with X-ray diffraction in the polished sections, the percentage of the minerals present in the sample was estimated, in addition, with the help of a petrographic microscope, the presence of the minerals could be corroborated by their optical properties. The material went to a comminution process to separate samples by granulometry, which were subjected to similar cyanidation processes, where the average recovery of Au was 2.6 g/T, which represents 32% of the total Au. As an important fact, the abundance of Pyrrhotite (highly magnetic), Pyrite, Marcasite and Arsenopyrite indicates an excess of Fe and S in the ore, which generates a very acidic medium that makes cyanidation difficult.

Keywords: Characterization, Mineralogy, Cyanuration, Au

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1. Caracterización del mineral	5
1.5 Geología Regional.....	5
1.6 Geología Local	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	7
2.1. Teoría de la investigación	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1 Método Exploratorio	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2 Método descriptivo	¡Error! Marcador no definido.
2.2. Enfoque de la investigación	7

2.3.	Clasificación visual de material de cabeza	11
2.4.	Clasificación por densidades	11
2.5.	Elaboración de secciones pulidas	12
2.6.	Análisis SEM (Microscopía electrónica de barrido)	13
2.7.	DRX (Difracción de rayos X).....	14
2.8.	Cianuración.....	14
CAPÍTULO 3.....		16
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	16
3.1	Descripción y clasificación de material de cabeza	16
3.2	Descripción y análisis por densidades	18
3.3	Interpretación de secciones pulidas	22
3.3.1	Muestra 1	22
3.3.2	Muestra 2	24
3.3.3	Muestra 3	27
3.4	Análisis SEM.....	31
3.5	Resultados de cianuración	39
CAPÍTULO 4.....		43
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
4.1	Conclusiones	43
•	El Au se encuentra principalmente en asociaciones minerales, como a teluros (calaverita) y en forma de aleación Au-Ag (electrum), ya que no se pudo identificar Au libre en el SEM, así como la recuperación por cianuración no fue eficiente.....	43
•	La mineralogía del material estudiado se compone mayormente de sulfuros de Cu, Fe, As, Sb, y Bi asociado a Co, Ag.....	43
•	La recuperación de Au fue de 2.6 g/T Au, que representa el 32% del total de Au.	43

• Mineralógicamente se estima una concentración de 6-10 % Cu y 40-90 g/T Ag en la muestra estudiada.	43
4.2 Recomendaciones.....	43
• Se recomienda realizar estudios posteriores con distintas granulometrías y diluciones.	44
• Realizar un pretratamiento de oxidación a la mena antes de cianurar para optimizar el proceso hidrometalúrgico.....	44
• Realizar pruebas de flotación bulk y selectiva para obtener concentrados. ¡Error! Marcador no definido.	
BIBLIOGRAFÍA	45
5. REFERENCIAS	45
APÉNDICES.....	49

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
LEMAT	Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
mil	Milésima de pulgada
m	Metro
mV	Milivoltio
pH	Potencial de Hidrógeno
Au	Oro
Ag	Plata
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
P	Fósforo
NaCN	Cianuro de Sodio
apy	Arsenopirita
bis	Bismutina
bn	Bornita
sph	Esfalerita
cp	Calcopirita
cc	Calcosina
cob	Cobaltita
mrc	Marcasita
py	Pirita
SEM	Microscopio electrónico de barrido (Scanning Electron Microscope)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.2.1. Metodología aplicada en la investigación. [Morales Gabriel, 2019]	10
Figura 2.3. Clasificación de material de cianuración. [Morales Gabriel, 2019]	15
Figura 3.1. Clasificación de material de cabeza.	16
Figura 3.2. Muestra grupo Sin oxidación.	17
Figura 3.3. Muestra 2B.	17
Figura 3.4. Muestra 3A.	18
Figura 3.5. Primer comportamiento acumulado	19
Figura 3.6. Segundo comportamiento acumulado	20
Figura 3.7. Segundo comportamiento acumulado	21
Figura 3.8. Identificación de minerales	23
Figura 3.9. Identificación de minerales	24
Figura 3.10. Identificación de minerales	24
Figura 3.11. Identificación de minerales	25
Figura 3.12. Identificación de minerales	26
Figura 3.13. Identificación de minerales	27
Figura 3.14. Identificación de minerales	27
Figura 3.15. Identificación de minerales	28
Figura 3.16. Identificación de minerales	29
Figura 3.17. Identificación de minerales	29
Figura 3.18. Identificación de minerales	30
Figura 3.19. Identificación de minerales	30
Figura 3.20. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición	32
Figura 3.21. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición	33
Figura 3.22. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición	34
Figura 3.23. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición	34

Figura 3.24. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición	35
Figura 3.25. .Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición	36
Figura 3.26. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición	36
Figura 3.27. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 3 evaluando en 4 puntos de medición	37
Figura 3.28. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición	38
Figura 3.29. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición	38
Figura 3.30. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición	39
Figura 3.31. Distribución granulométrica de la muestra M140.....	39
Figura 3.32. Distribución granulométrica de la muestra M200.....	40
Figura 3.33. Cianuro consumido en 12 horas, muestra M140	40
Figura 3.34. Cianuro consumido en 12 horas, muestra M200	41
Figura 3.35. Au recuperado en 12 horas, muestra M140.....	41
Figura 3.36. Au recuperado en 12 horas, muestra M200.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de resumen de grupos de densidades	22
Tabla 2 Puntos de medición con su respectiva composición química en Muestra 1-Test 1	31
Tabla 3 Puntos de medición con su respectiva composición química en Muestra 2-Test 1	34
Tabla 4 Puntos de medición con sus respectivas composiciones químicas en Muestra 2-Test 3.....	37

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador existen sectores con sobreexplotación de recursos mineralógicos hace más de tres décadas, las menas con contenido atractivo económico de oro se encuentran escasas, por lo que las empresas se encuentran en la necesidad de conocer, de manera precisa, las propiedades y características de los metales preciosos encontrados con el objetivo de trabajar con procesos adecuados para la extracción (Borja & Moreno, 2015) (Yáñez, García, Pedraza, & Laverde, 2005).

Las empresas ubicadas en los sectores de Zaruma-Piñas-Portovelo efectúan estudios de caracterización mineralógica provenientes del sector Playas Daucay, del cantón Chilla-Ecuador, con la finalidad de conocer a detalle del material que extraerán y confirmar la información obtenida en estudios previos para adecuar un proceso de recuperación adecuada del mineral de interés, puesto que no existen informes a detalle del sector.

Los estudios afirman que una valoración de un depósito no solo necesita del estudio estándar de leyes de los minerales asociados, sino que puede apoyarse en el estudio asociado mineralógico detallado de las asociaciones para aumentar el valor añadido de la explotación, y no solo tenerlo con fines académicos (Melgarejo, Proenza, Galí, & Llovet, 2010).

Por otro lado, la industria minera ha utilizado un método bastante cuestionado para la extracción o procesos productivos de obtención de oro. Aunque la metodología implementada tenga en consideración como necesario el uso de cianuro, el uso de este material mientras se mantenga de manera adecuada es válida y comprensible (Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente. ICME, 2001).

Sin embargo, a este proceso se le añaden otros, anteriores o posteriores, con la finalidad de mejorar los procesos y ser eficientes en la obtención de oro. Puesto que, la mayoría de los minerales sulfurosos de oro y plata son refractarios, se hace necesario utilizar un pre-proceso de oxidación para pasar a la cianuración (Salinas, y otros, 2004).

Esto es fundamental, en vista que el oro puede tener incluido o en asociación a otros minerales, para su respectiva extracción. Es para ello que se hace imprescindible y justificado el trabajo de caracterizar el mineral para identificar los procesos adecuados que son aplicables al caso respectivo que sean tanto económicamente como ambientalmente beneficiosos (Adolfo, 2007).

Para el presente trabajo se detallan diversos métodos aplicados, del grupo de técnicas existentes, para caracterizar el material proporcionado por las empresas en cuestión, con el objetivo de conocer el porcentaje de recuperación utilizando cianuración.

1.1 Descripción del problema

La actividad minera en Playas de Daucay en el cantón Chilla, se efectúa de manera artesanal, de manera que la recuperación de los minerales de interés económico es realizada en plantas de beneficio, localizadas en el sector Pache, Portovelo.

Considerando que las características geológicas y mineralógicas de cualquier yacimiento son de gran importancia para la selección del método para la recuperación de los minerales de interés económicamente rentables y tomando en cuenta que en el sector se está realizando la exploración de un nuevo yacimiento menífero, se requiere caracterizar estos materiales, puesto que no existe suficiente información recabada sobre estos en el sector Playas de Daucay.

1.2 Justificación del problema

El presente trabajo enfoca la actividad minera como un medio de desarrollo cultural, social y económico de una empresa como de un población en específico, debido a la importancia que tiene y al impacto que genera, muchas veces se destaca los aspecto negativos de esta, se presenta una investigación con objetivo de mejorar tanto el rédito económico de la empresa en cuestión, así como también, como las ventajas y desventajas de aplicar un pretratamiento a los minerales de sulfuro para la optimización de recuperación del mineral de interés (Hinojosa, 2002).

Con lo antes mencionado, el presente trabajo se enfoca en realizar la caracterización del material de cabeza proporcionado por el cliente utilizando las técnicas de difracción de rayos X y secciones pulidas con la finalidad de identificar los minerales asociados a las muestras.

Una vez realizado el trabajo de clasificación del material de cabeza y su respectiva caracterización se sugieren métodos de recuperación en función del tipo de material extraído del afloramiento obteniendo una mayor recuperación al 20% que la empresa tiene hasta la presente fecha aplicando la técnica de cianuración.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar mineralógicamente el material extraído del sector Playas-Daucay mediante el uso de técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM), y empleando técnicas hidrometalúrgicas para la recuperación del mineral de interés económico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información bibliográfica y de campo, utilizando métodos de investigación descriptiva y exploratoria para seleccionar el método adecuado de caracterización de las asociaciones mineralógicas.
- Estimar el porcentaje de minerales asociados al mineral de interés económico en la mena de estudio, mediante el uso de técnicas de SEM y DRX.
- Determinar el porcentaje de recuperación de oro, mediante el proceso hidrometalúrgico de cianuración.

1.4 Marco teórico

Para este proyecto se realizó una búsqueda de información recopilatoria de trabajos homólogos, tanto en caracterización de un mineral como de los distintos procesos de recuperación auríferos que existen según los minerales de interés que se tiene bajo estudio. Por lo que se trabajó como primera fase en la investigación exploratoria, consiguiendo una metodología de trabajo con el material proporcionado por el cliente.

Para esto se realizó el trabajo de investigación bibliográfica en las siguientes tres etapas, condicionado por el material recibido: Caracterización del material según sus propiedades físicas, caracterización de mineral utilizando técnicas de análisis microscópico y procesos de recuperación de mineral.

Con lo antes expuesto se encontró que:

Según la composición química que el mineral que lo comprende se ha establecido una clasificación, utilizando como esquema de referencia los minerales, los aniones o grupos catiónicos dominantes para formar sus clases (Pascual, 2019), tales como:

- Sulfuros
- Sulfosales
- Óxidos
- Haluros
- Carbonatos
- Nitratos
- Boratos
- Fosfatos
- Sulfatos
- Tungstatos
- Silicatos

Con esto se trabaja como un primer marco de referencia, sin embargo, se debe de tomar en cuenta la estructura atómica del mismo para la toma de una

decisión adecuada (Universidad Nacional del Nordeste, 2019). Lo antes mencionado permite definir la constitución del material de cabeza que se estudia en este presente trabajo.

1.4.1. Caracterización del mineral

La caracterización de un material sólido cumple el objetivo de analizar los minerales constituidos en una roca, mediante la aplicación de un abanico diverso de técnicas que indican al investigador conocer cualitativamente como cuantitativamente su constitución química, las transformaciones que los ha alterado por consecuencias térmicas y reacciones químicas (SEDICI, 2019).

1.5 Geología Regional

El área de estudio se encuentra localizado en la faja de mineralización aurífera polimetálica Zaruma-Portovelo. La faja se encuentra limitada al N con respecto al campo mineral Molleturo, al S con la falla Piñas-Portovelo que toma el nombre de falla Girón, al W limita con la provincia geológica Costa. La Falla Peltetec representa la acreción de los Terrenos Chaucha y Tahuin al Terreno Oceánico Alao durante el Cretácico la sutura Piñas-Portovelo hace similitud con la colisión continental durante el Jurásico Cretácico Inferior de los terrenos metamórficos mencionados.

El distrito Zaruma-Portovelo se localiza en la parte SE con respecto a la faja de mineralización aurífera polimetálica.

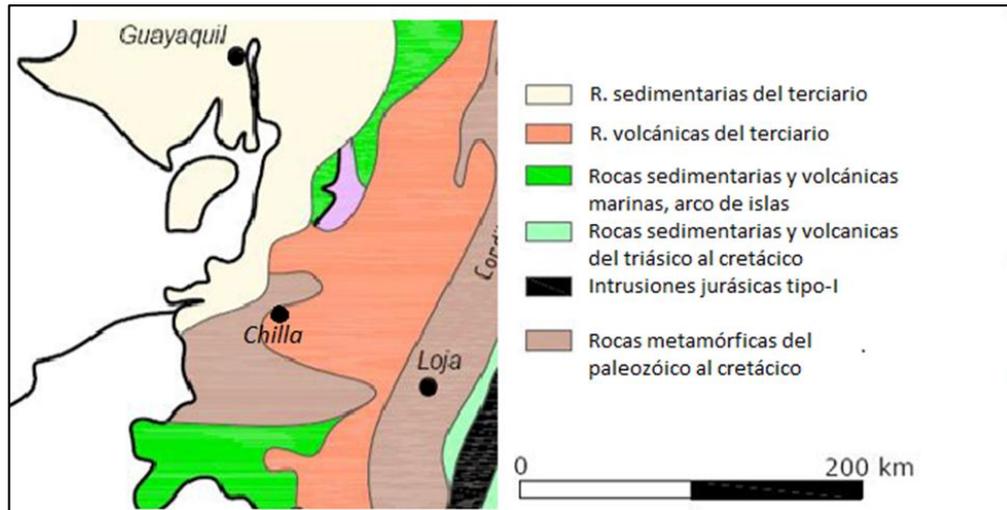


Imagen 1.1.- Geología Regional de la Zona

1.6 Geología Local

Las rocas que se encuentran en el Complejo Metamórfico, El Oro se encuentran ubicadas al sureste del yacimiento, que limita al norte de su exposición con la Falla Piñas- Portovelo (P-P) donde predominan rocas del tipo meta-sedimentarias como: pizarras y conglomerados con clivaje. Las rocas pertenecientes al Grupo Saraguro están representadas por tobas soldadas de flujo de composición riolítica a dacítica.

La mineralización del distrito Zaruma-Portovelo se encuentran situadas en rocas volcánicas intermedias a silíceas de la recientemente definida Unidad Portovelo que está fallada contra las rocas metamórficas del extremo SE del área en contacto con la faja presente del Grupo Saraguro a lo largo del sistema de Fallas Piñas-Portovelo(P-P)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Enfoque de la investigación

La investigación se bifurca en dos tipos de enfoques, el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo, la última también denominada investigación naturalista, los cuales están a disposición del investigador según su conveniencia en el tema que vaya a tratar (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2018).

El enfoque cuantitativo, no es nada más que el proceso metódico y en orden, el cual sigue pasos determinados. Por lo que se tiene un esquema ya estructurado que, si bien es cierto, no se puede utilizar para todas las investigaciones, sí es posible adaptar el proceso de investigación con la finalidad de mantener un proceso sistemático (Monje, 2011).

Por otro lado, también se tiene el enfoque de la investigación cualitativa, la cual se encarga de estudiar los diversos tópicos con el objetivo de comprender la esencia de un tema en particular, su proceso no es del todo sistemático, sin embargo, sirve para reforzar aquello indagado por el método cualitativo (Katayama, 2014).

Sin embargo, también se habla de un enfoque cualitativo-cuantitativo o también denominado enfoque mixto, donde se utilizan características de ambos enfoques para realizar un análisis más completo del fenómeno a estudiar.

Con lo antes expuesto, la presente investigación, optó por escoger un enfoque mixto, este método es un conjunto de procesos que tienen una secuencia y sus pasos han sido probados. En este tipo de investigación se utiliza herramientas estadísticas, una vez identificadas las variables que se requieren analizar. Con ello se puede acercarse a una conclusión que vaya acorde a los objetivos planteados con respecto a la investigación, debido a que estos datos procesados y ordenados permiten que el tema a tratar pueda ser medible y cuantificable para dar cabida a estimaciones (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

La metodología de la investigación es el medio que se utiliza para encontrar o validar sistemas, técnicas o procedimientos para acercarse a una conclusión objetiva de lo que se presenta como material de investigación o interés. Por lo que, la metodología está encargada de la correcta articulación, esquematización y comprobación de los instrumentos fundamentales e imprescindibles para alcanzar los motivos de investigación (Tercer Milenio S.C., 2012).

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización del material de cabeza proporcionada por la empresa, la cual recupera en promedio un 30% del mineral de interés, oro, y se busca optimizar y sugerir un proceso que mejore el rédito económico para la planta de tratamiento mineral, por lo que se utilizó varios tipos de investigación para lograr una metodología de investigación integral.

Con lo antes mencionado, la metodología implementada está conformada por tres tipos de investigación: investigación exploratoria, descriptiva y de aplicación. Con esto, es posible realizar la corroboración de la alternativa presentada en la investigación (Tam, Vera, & Oliveros, 2008).

Para el presente trabajo se realiza una recopilación de información relacionada con la geología de la zona donde se toma la muestra, por lo tanto, se recolecta información sobre tratamientos de menas auríferas, se implementa distintas metodologías de recuperación del mineral de interés con la finalidad de obtener el mayor porcentaje de recuperación.

La primera fase de la investigación para el trabajo consiste en la toma de muestras conjunto con la revisión de la información disponible sobre la geología local del punto de muestreo, lo que permitió el desarrollo investigativo para el acondicionamiento que la muestra necesitaba para realizar técnicas de caracterización, haciendo uso de las técnicas de secado, trituración y homogenización.

Seguido a esto, se procede a trabajar con la muestra para la caracterización correspondiente utilizando secciones pulidas, análisis de láminas delgadas y microscopía electrónica de barrido, muestra que tuvo una previa clasificación de material, puesto que, el material proporcionado, tenía tres grupos principales, óxidos, sulfuros y transitorios, con la finalidad de hacer pruebas de cianuración y otorgar la respectiva sugerencia a la empresa en caso de ser óptimo.

En la siguiente figura se muestra el esquema o diagrama de flujo de la metodología implementada. (Véase figura 2.1)

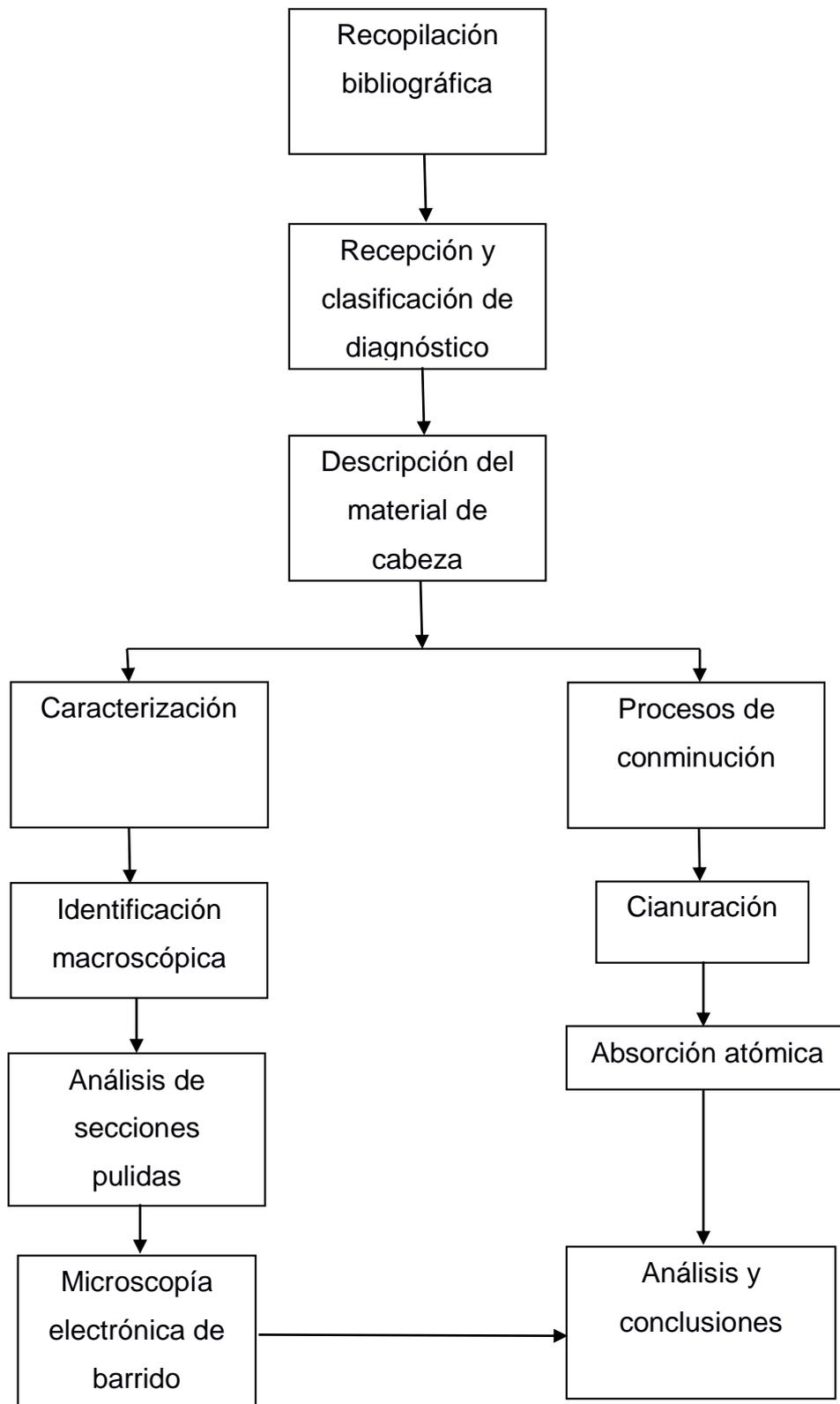


Figura.2.1. Metodología aplicada en la investigación. [Morales Gabriel, 2019]

2.2. Clasificación visual de material de cabeza

El estudio de las rocas es imprescindible para trabajos asociados a la obtención de minerales y para establecer una campaña que resulte económicamente rentable que logre optimizar recursos maximizando ganancias cuando hay un análisis constante en los distintos frentes de trabajo que tiene una empresa que se encuentra en etapa de explotación.

Es necesario realizar una primera clasificación visual con la muestra de cabeza, debido a que permite el primer acercamiento que se tiene, puesto que ciertas propiedades son posibles reconocer de manera macroscópica usando pruebas sencillas como diferencia de pesos entre los materiales muestreados o análisis de color según las condiciones de exposición de la roca como el estado de oxidación que presenta (Departamento de cristalografía y mineralogía, 2019).

Para hacer este análisis de rocas, se partió de un estudio visual macroscópico de las rocas obtenidas del frente de trabajo de la mina. Posterior, se procedió a realizar la respectiva clasificación en función de la coloración que presentaban los materiales de cabeza que permitió observar en las rocas distintos colores debido a la oxidación que presentaban.

Necesario y fundamental reconocer el tipo de roca que se tiene en una muestra y la naturaleza de esta. Nos permite concebir ideas de cómo trabajan los procesos geológicos de un determinado yacimiento y todo lo que se encuentre relacionado a estos para determinar comportamientos de este (Orozco, Branch, & Jiménez, 2014).

2.3. Clasificación por densidades

Como es conocido las propiedades físicas que son inherentes a nuestro material a trabajar, son un resultado directo de su composición química y de la estructura de esta (Servicio geológico mexicano, 2019). Entre las características que posee un mineral, como: color, fractura, refracción entre otras, destaca su densidad,

puesto que ciertos materiales, a pesar de que se compare en un mismo volumen con otros, son más pesados.

Para el respectivo análisis de la densidad del material se realizó la toma de datos cuantitativos del objeto, por lo que es necesario realizar el secado de la muestra y se procede realizar un proceso gravimétrico con el que se trabaja una diferencia de pesos que determinan la densidad de la roca, obteniendo de esta manera la densidad seca del material. Luego ordenándolos estadísticamente, se define la cantidad de segmentos agrupados que denotan características dentro del universo de muestras tomados (Fernández, 2015).

La finalidad de usar esta técnica es contrastar y comprobar si se mantiene la clasificación realizada de manera visual o por densidades.

2.4. Elaboración de secciones pulidas

Para el siguiente apartado se procedió a realizar el acondicionamiento del material clasificado tomando tres muestras de la clasificación visual, en los cuales se plantea efectuar los cortes de secciones, montaje, desbaste, pre-pulido, pulido y el acabado final la cual es de suma importancia para la detección de minerales opacos haciendo uso de un microscopio.

La sección pulida tiene que considerar que los cristales o granos de mineral tienen que ser una muestra aleatoria representativa estadísticamente. (Marcos & Moreiras, 1984). Para comenzar esta etapa de la metodología de la investigación, se realizó la toma de un elemento que presentara las mejores condiciones según los colores que se hizo en el análisis visual, en el que se efectuará un corte de dicho elemento escogido con el uso de una sierra.

Se elaboró el corte de secciones pulidas y todo el procedimiento en general en función de lo que se tiene por convención que se divide en 4 pasos donde el material y los parámetros requeridos sean los adecuados (Michaelsen, Nielsen, & Lindergren, 2019).

Se ajustó el tamaño de la roca a aproximadamente 5cm de longitud, 4cm de ancho y 3 de profundidad. Mientras se hace uso de la sierra para hacer el corte respectivo, se debe tomar en consideración el calor que la sierra tenga en el trabajo que se realiza, puesto que este calor debido a lo abrasivo del material resulte en un cambio o alteración en la estructura del mineral, debido a esto se recomienda usar refrigerantes como el agua (López & Bosch, 1971).

Estas muestras de mano se cortaron nuevamente en una sierra de precisión, seleccionándose la sección de roca que más minerales contuviera, para que puedan encajar en el cilindro plástico donde se arma la sección pulida.

Una vez que se haya hecho el proceso de limpieza y secado se coloca la muestra en un molde cilíndrico plástico de 3 cm de diámetro y 2 de profundidad, para posteriormente ser llenado completamente por resina. Se esperó 2 días para su secado.

Luego, se realizó el respectivo pulido de la sección, sin embargo, establecer un pulido perfecto fue complicado en vista de la naturaleza del material de contener más de un tipo de mineral con distintas durezas, por lo cual es necesario recurrir a un pulido relativo.

Con lo anteriormente mencionado, se realizó este proceso para tres rocas que representaran el mejor comportamiento de los grupos clasificados visualmente con el objetivo de lograr una comparativa entre la clasificación designada por medios visuales y los estadísticos de las densidades de los materiales. Además de identificar los minerales constituyentes de la roca.

2.5. Análisis SEM (Microscopía electrónica de barrido)

El procedimiento que detalla a continuación es una técnica muy utilizada y de mucha importancia dentro de análisis de minerales, puesto que permite observar la composición de forma cualitativa, siendo una etapa que permite tomar la decisión de la siguiente herramienta analítica, puesto que presenta y proporciona una diversa cantidad de información (Lantes, Prieto, & Martínez, 2011).

Con lo antes expuesto, se colocaron las secciones pulidas en el microscopio lo que permite conocer su estado utilizando imágenes capturadas a través de su sistema que dispara electrones en vez de luz. Estas imágenes distinguen cada fase mineral por su índice de reflexión (las fases con elementos con mayor número atómico reflejan mejor el haz de electrones del SEM y se presentan mucho más brillantes en la imagen obtenida), permitiendo conocer la cantidad del mineral de interés de la muestra que permita ser cuantificado para tomar en consideración la proporción que existen entre el material tomado de cabeza y el mineral precioso (Choque, Marcondes, Pollman, & Gomes, 2006).

2.6. DRX (Difracción de rayos X)

Dentro del marco analítico, se presenta una técnica bastante utilizada en la caracterización mineral y su aplicación dentro las distintas etapas en industria minera en el que la difracción de rayos X, juega un papel fundamental como una técnica básica y por convención (Mejgarejo, Proenza, Galí, & Llovet, 2010).

En el proceso de difracción de rayos X, se aprovecha el fenómeno físico que se produce al emitir rayos X de una determinada longitud de onda por lo que se analiza el ángulo de difracción que tiene dicho rayo al chocar con distintos elementos, lo que permite conocer información de las fases del material con el que se trabaja. (Universidad del país Vasco, 2019).

En el caso de la muestra, se analizó cada fase (identificada por el SEM) con una reflexión alta (elementos más densos, posibles metales), el instrumento utilizado fue el mismo del SEM, el mismo instrumento asociaba la difracción que percibía con el elemento químico que estaba asociado a ella.

2.7. Cianuración

Tras la caracterización se procedió al trabajo de cianuración para conocer el porcentaje de recuperación que se puede obtener en el frente de trabajo de la empresa, por lo que se realizaron ensayos recursivos de cianuración intensiva.

Para ello se trituró, homogenizó, molió y tamizó el material de cabeza proporcionado, y de esto se prepararon dos muestras de 1Kg de material mediante una distribución granulométrica. Cada ensayo de cianuración tuvo una duración de 12 horas. De esta manera se pudo determinar el porcentaje de recuperación de la muestra del material de cabeza. Se tomó una muestra de cianuración cada hora para hacer el correcto análisis de pH de la muestra.

Además, se tomó una muestra de la cianuración a la hora y media, a las tres horas, a las seis horas, a las nueve horas y a las doce horas para realizarles pruebas de absorción atómica y determinar el Au recuperado. Esto se lo contrastará con la ley de Au presente en el material de cabeza, el cual será proporcionado por un ensayo al fuego en 100g de material molido extra que se envió a un laboratorio.

Por lo que se partió realizando el esquema presentado en la imagen a continuación, llegando a trabajar la granulometría para los respectivos ensayos, considerando hacer pruebas con pre-tratamientos (Miranda & Suárez, 1983).

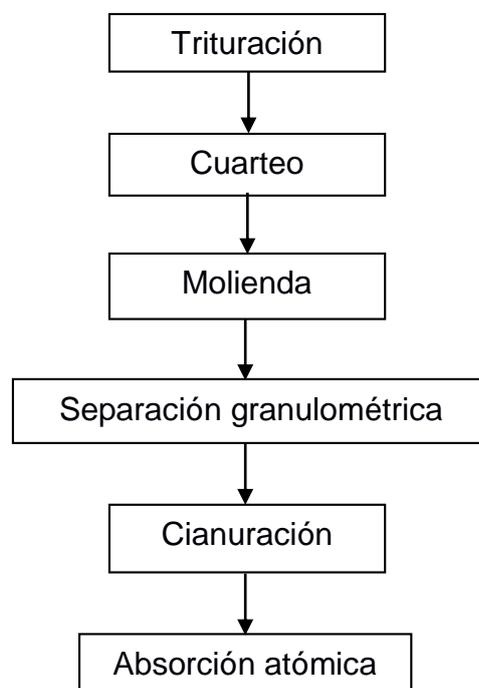


Figura 2.2. Clasificación de material de cianuración. [Morales Gabriel, 2019]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Descripción y clasificación de material de cabeza

Como se explicó en el capítulo anterior, se tomó en consideración el peso relativo de las rocas y su coloración en función a aspectos físicos como:

1. **Sin oxidación (1):** Debido a la ausencia de oxidación, este material presenta una moderada presencia de sulfuros y cuarzo, presentan bajo peso específico en comparación con el grupo anterior a simple interacción
2. **Débil oxidación (2):** Debido a una débil oxidación, se observó minerales de sulfuros en transición a óxidos, con una débil coloración rojiza, presentaban alto peso específico a simple interacción.
3. **Oxidados (3):** Debido a la fuerte coloración rojiza por la meteorización.

De esta manera, se establecen tres grupos del material de cabeza con lo que se establece un primer sistema de clasificación. (Véase figura 3, de izquierda a derecha)

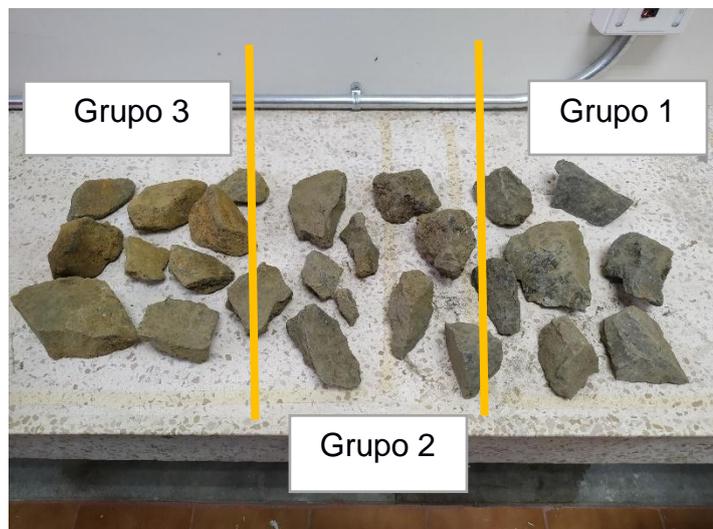


Figura 3.1. Clasificación de material de cabeza.

Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 3.4, se tiene un material que corresponde al grupo 1 (sin oxidación), donde se nota que estas muestras son menos

pesadas con respecto a las muestras de los otros grupos. (Débil oxidados y oxidados)

Los minerales encontrados en este grupo son: pirita, pirrotita y calcopirita.

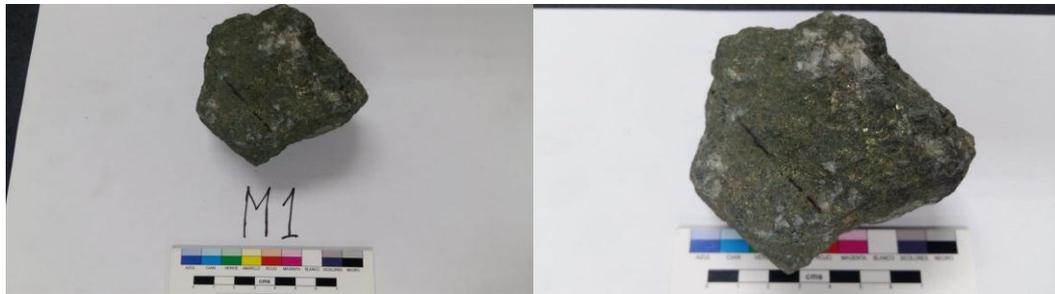


Figura 3.2. Muestra grupo Sin oxidación.

Fuente: Autor

En la figura 3.6 se observa material con débil oxidación visual, presentaba características mineralógicas (sulfuros) y menor oxidación con respecto al grupo 3, rocas oxidadas. Esta muestra presentaba minerales como: calcopirita, pirita, bornita y óxidos de hierro (alrededor de la calcopirita y pirita).



Figura 3.3. Muestra 2B.

Fuente: Autor

Por último, tenemos al grupo número tres (Figura 3.7), que presenta fuertes signos meteorización, por lo que se encuentra un material bastante oxidado por la intemperie. Sin embargo, aún quedan minerales calcosina, covelina, bornita, malaquita y azurita.



Figura 3.4. Muestra 3A.

Fuente: Autor

3.2 Descripción y análisis por densidades

En la presente sección se definen dos grupos tomando en consideración la acumulación de datos estadísticos calculados de las densidades de las muestras del material de cabeza.

El primer grupo estadístico se encuentra acumulado en la clase 2.8, con alrededor del 50% de las muestras, mientras que el segundo grupo estadístico representa un 35% de la población de la muestra, el cual es un material más denso debido a la presencia de sulfuros y minerales pesados como: oro, cobre y hierro, encontrados desde la clase 3.2 a la clase 3.6. Las cuales presentan, con una densidad media 3.4, con una densidad de hasta 18% más alta.

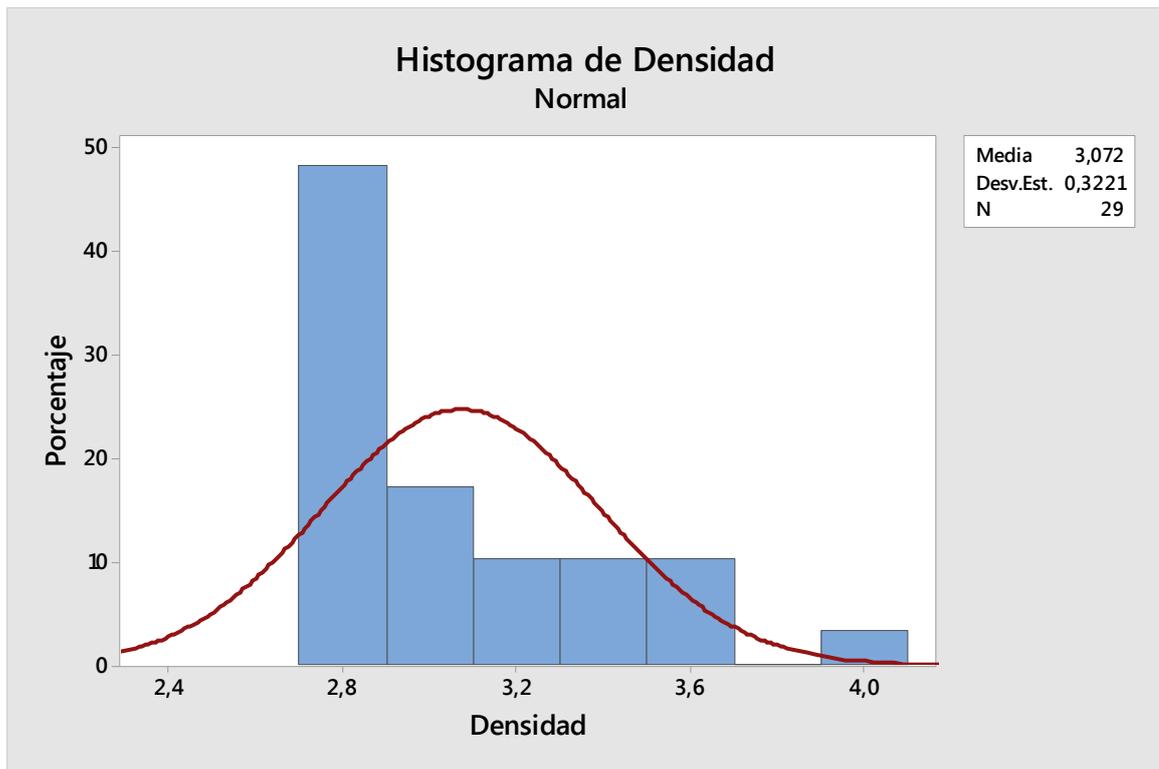


Figura 3.5. Primer comportamiento acumulado

Fuente: Autor

En la siguiente Figura 3.9 se denota que el material no presenta propiedades magnéticas, que indican que el material de la muestra en el grupo 1 se lo asocia a posible caja con de textura ígnea-afanítica posiblemente andesita con remanente de plagioclasa y hornblenda. Se observan cloritas reemplazando minerales oscuros máficos.

Presencia de cloritas asociadas a piritita, calcopiritita y epidotas, corresponde a una posible andesita con sus manchas verdes-negras. Textura afanítica con tonalidades verde-negro similares a una andesita. Presenta alteraciones de cloritas-epidotitas con algunos fenocristales de plagioclasas (0.3-0.5cm)

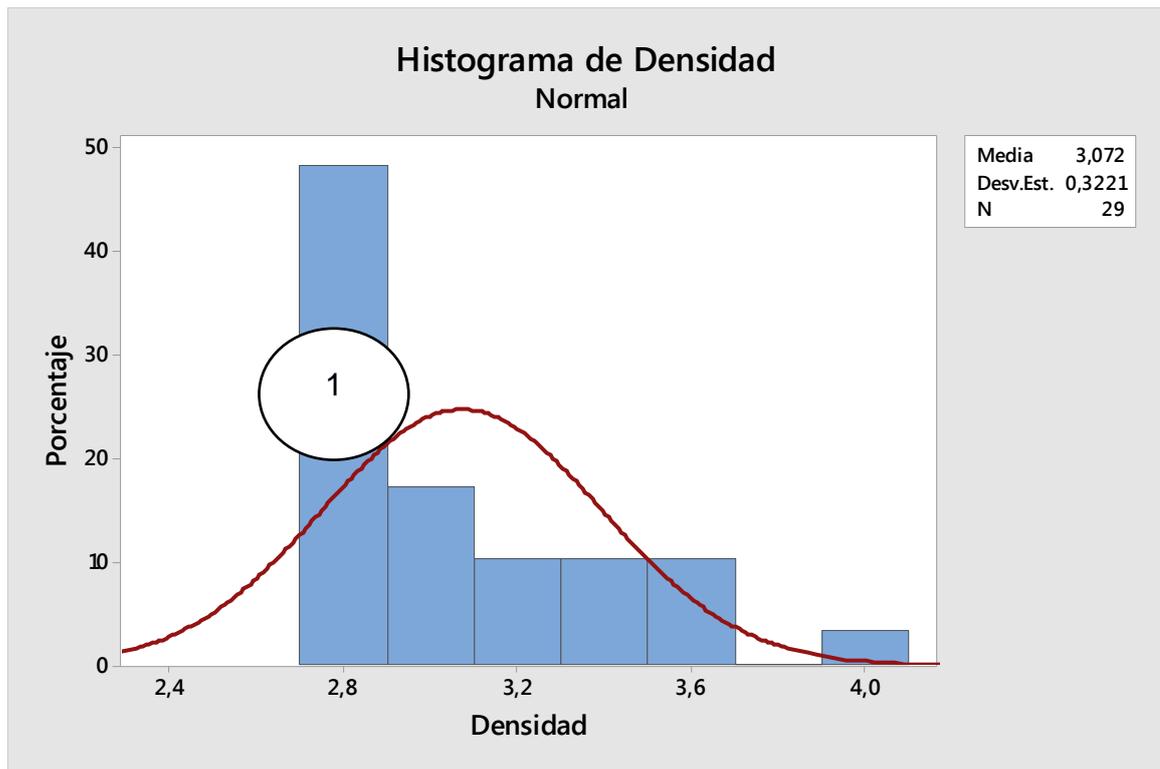


Figura 3.6. Segundo comportamiento acumulado

Fuente: Autor

Este material representa una mena de sulfuros que presenta magnetismo que contiene Pirrotina con minerales asociados tales como: Cuarzo en un 18% del material de la muestra, en el que se presenta una media de pirrotita en un 28%, media de pirita en un 9.5%, presencia media de calcopirita, se identificó un 40% de minerales de clorita que se encontraba en parches.

Además, existe presencia de esfalerita y de bornita, esta última en conjunto a la pirrotita.

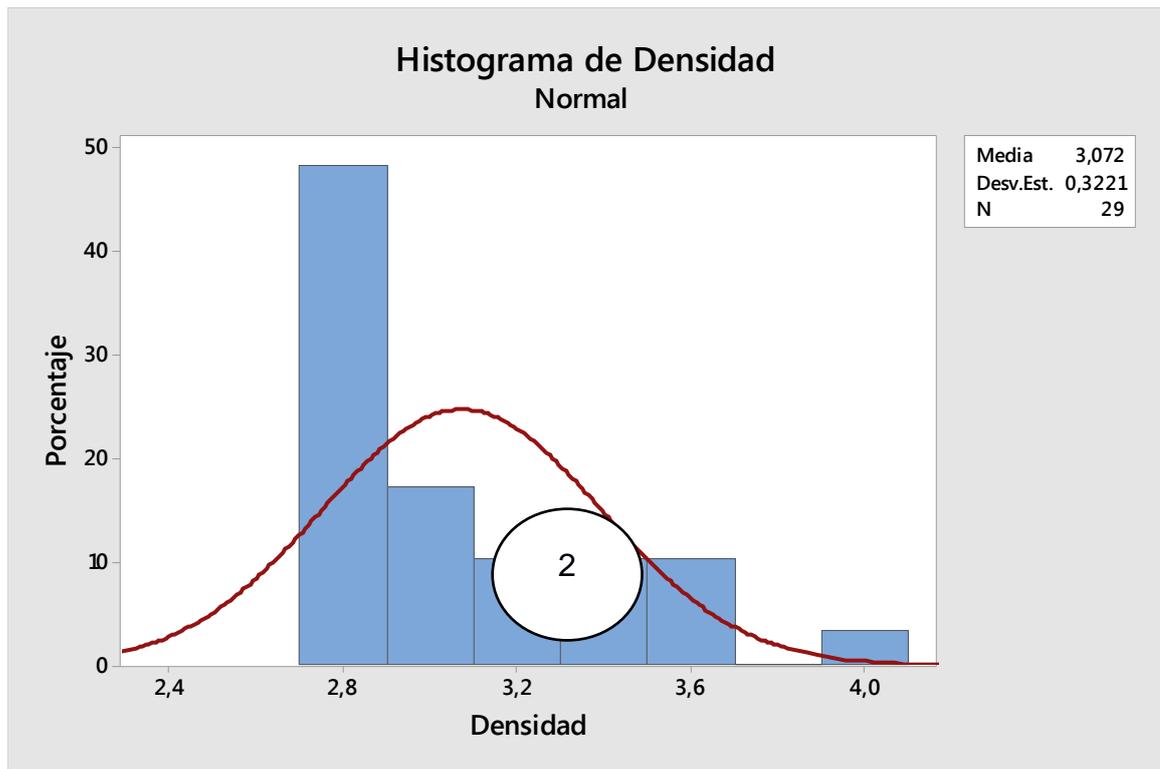


Figura 3.7. Segundo comportamiento acumulado

Fuente: Autor

Tabla 1 Tabla de resumen de grupos de densidades

Grupo	Rango de densidad	Descripción	Imagen
Grupo 1	2.73-2.9	<ul style="list-style-type: none"> • Baja densidad • Textura ígnea-afanítica • Presencia de cloritas • Presencia de hornblenda • No hay presencia de magnetismo 	
Grupo 2	3-4.04	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad • Presencia fuertemente magnética • Presencia de clorita • Presencia de pirrotita • Posibles asociaciones con oro y plata 	

Fuente: Autor

3.3 Interpretación de secciones pulidas

3.3.1 Muestra 1

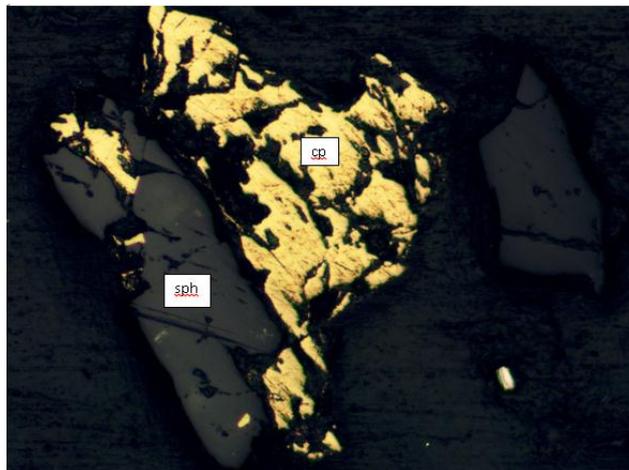


Figura 3.1. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas.

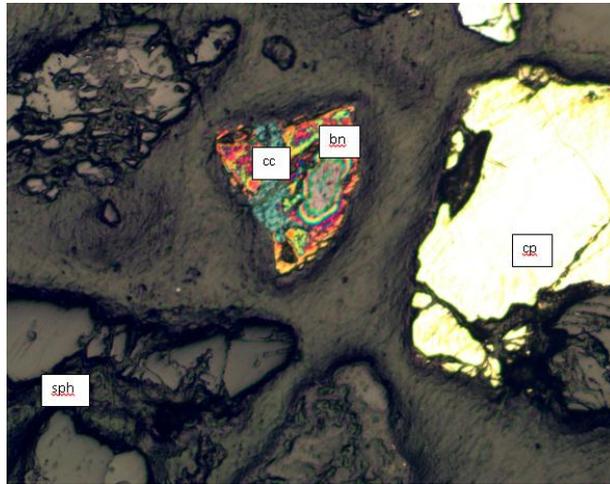


Figura 3.8. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas. Bornita presentando las tonalidades rojizas a naranja, visible anisotropía, bajo pleocroísmo y baja birrefringencia.

Calcosina en color azul plomizo pálido (con brillo menor al de la bornita) de forma isotrópica con bajo pleocroísmo, reemplazando parte de la bornita.

3.3.2 Muestra 2

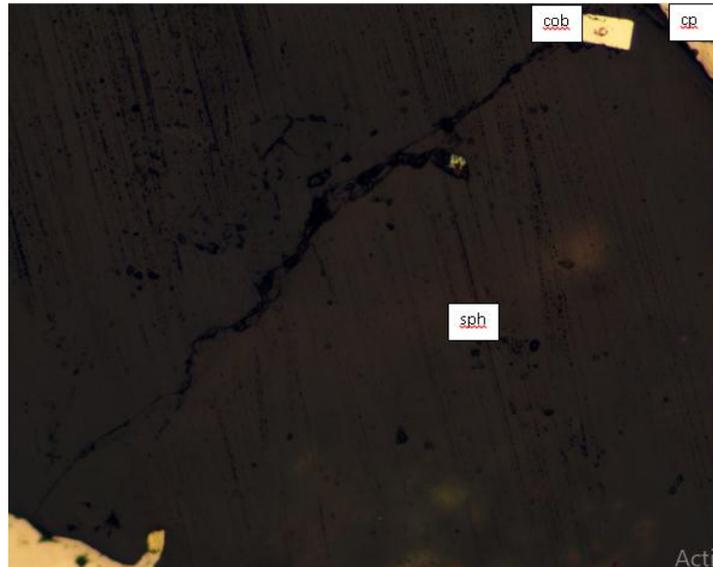


Figura 3.9. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas.

Cobaltina presentando una coloración blanca rosácea de forma isotrópica. Reflectividad mucho mayor al resto de minerales presentes. Presenta una estructura y clivaje iguales a los de la microscopía electrónica.

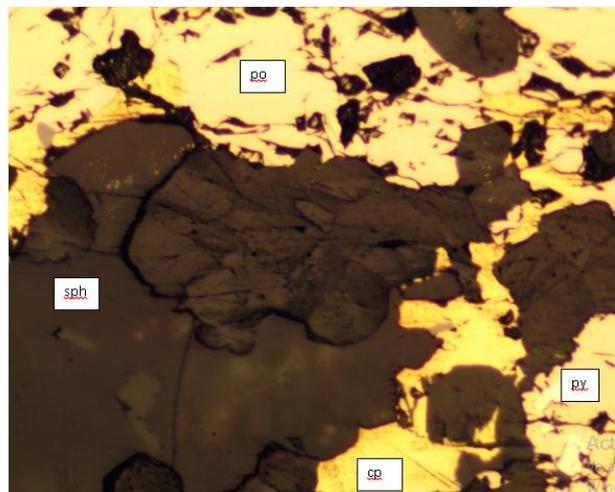


Figura 3.10. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas.

Pirita identificada en coloración blanquecina con un tinte amarillento (baja coloración e isotrópica), rodeada por pirrotita en el color rosáceo-crema (coloreado de forma anisotrópica).

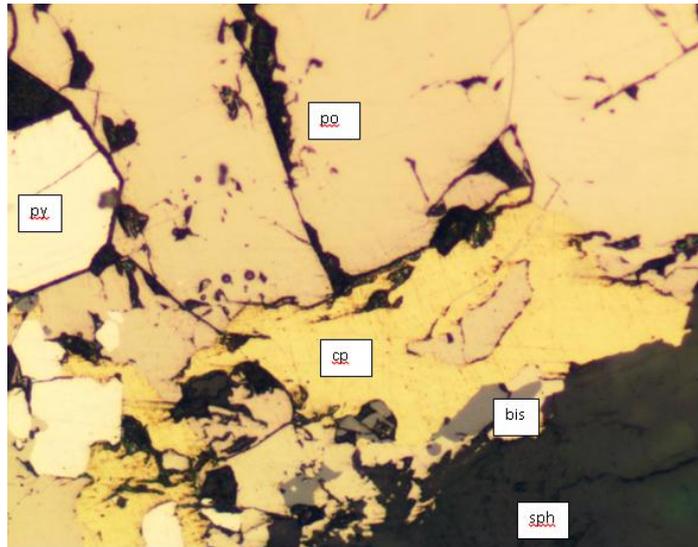


Figura 3.11. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Nicoles paralelos

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas.

Pirita identificada en coloración blanquinosa con un tinte amarillento (baja coloración e isotrópica), rodeada por pirrotita en el color rosáceo-crema (coloreado de forma anisotrópica). Bismutinita visible en coloración gris claro.

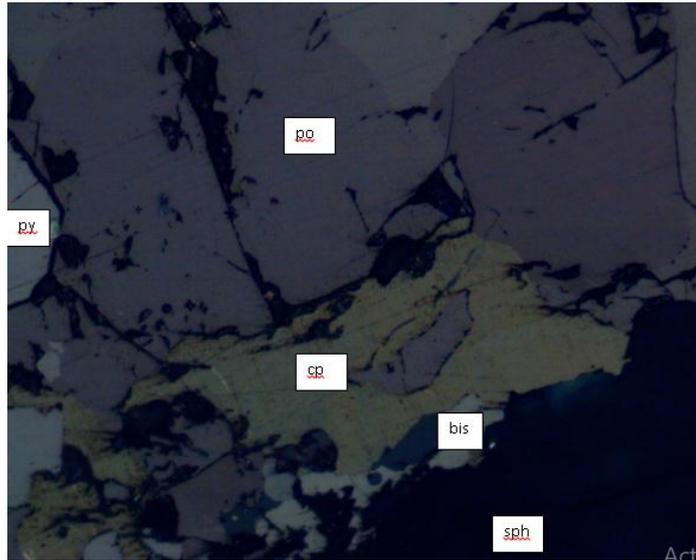


Figura 3.12. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Nicoles cruzados

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Pirita identificada en coloración blanca (baja coloración e isotrópica), rodeada por pirrotita en color marrón (coloreado de forma anisotrópica). **Bismutina** visible en coloración gris azulado.

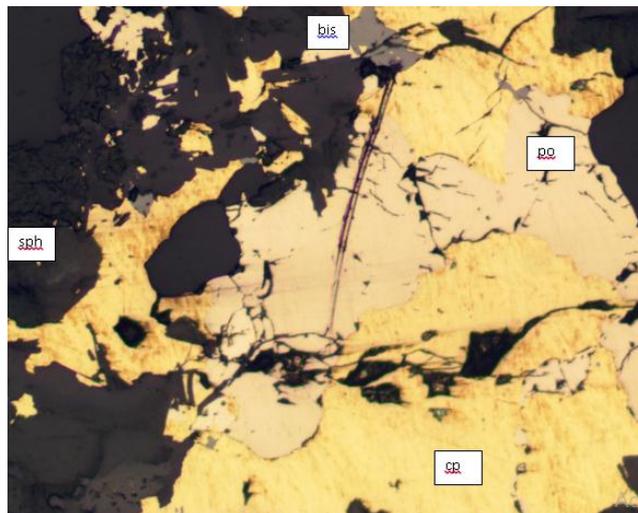


Figura 3. 2. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas.

Pirita identificada en coloración blanquinosa con un tinte amarillento (baja coloración e isotrópica), rodeada por pirrotita en el color rosáceo-crema (coloreado de forma anisotrópica). Bismutinita visible en coloración gris claro.

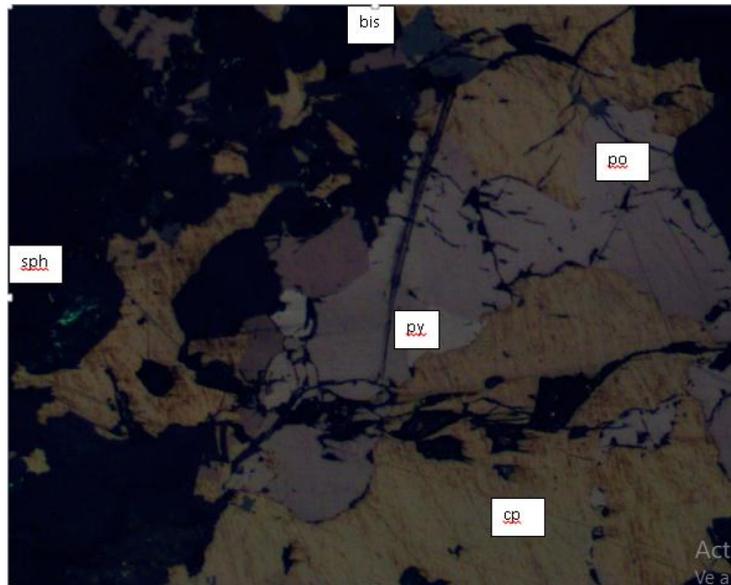


Figura 3.13. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Pirita identificada en coloración blanca (baja coloración e isotrópica), rodeada por pirrotita en color marrón (coloreado de forma anisotrópica). Bismutinita visible en coloración gris azulado.

3.3.3 Muestra 3

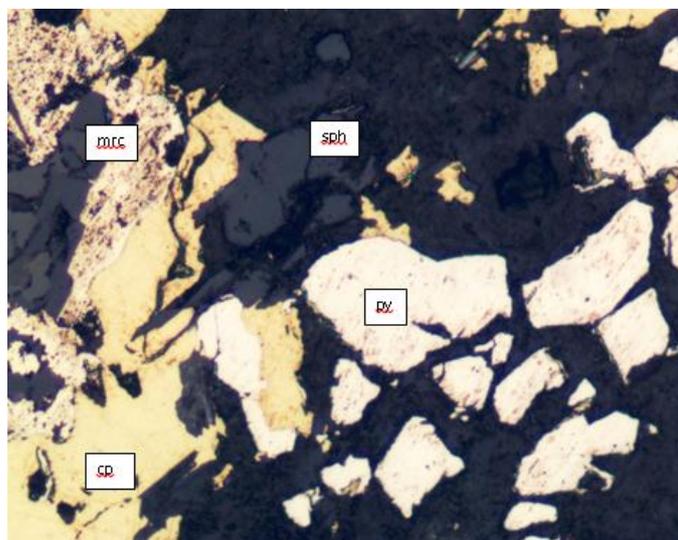


Figura 3.14. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas. Pirita identificada en coloración blanco rosáceo (baja coloración e isotrópica). **Marcasita** en color blanco rosáceo presentando su particular textura lamelar.

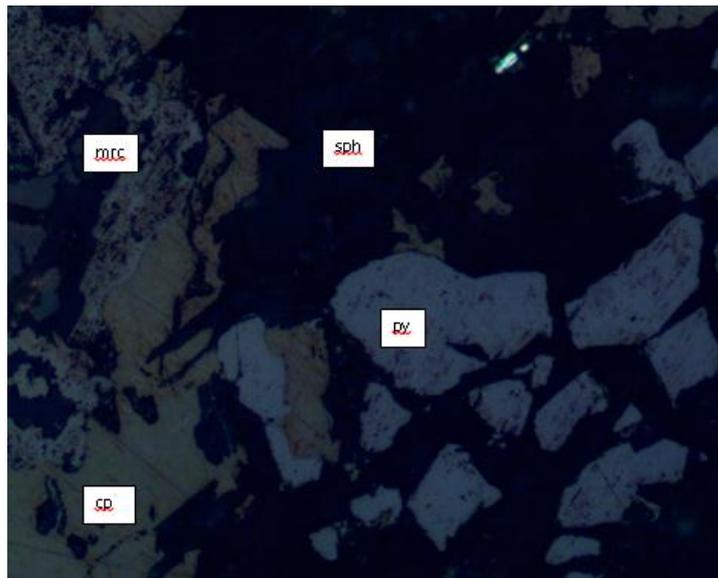


Figura 3.15. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Pirita identificada en coloración blanca (baja coloración e isotrópica). **Marcasita** visible en coloración blanco rosáceo, presentando anisotropía baja.

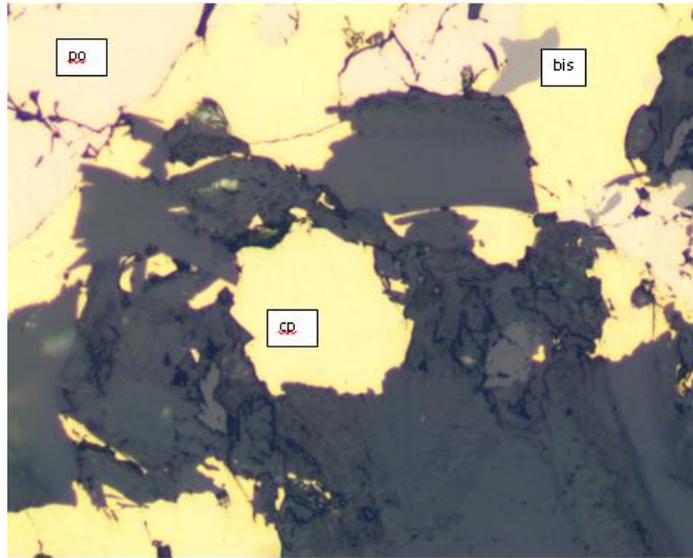


Figura 3.16. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Pirita identificada en coloración blanquinosa con un tinte amarillento (baja coloración e isotrópica), rodeada por pirrotita en el color rosáceo-crema (coloreado de forma anisotrópica). **Bismutina** visible en coloración gris claro.

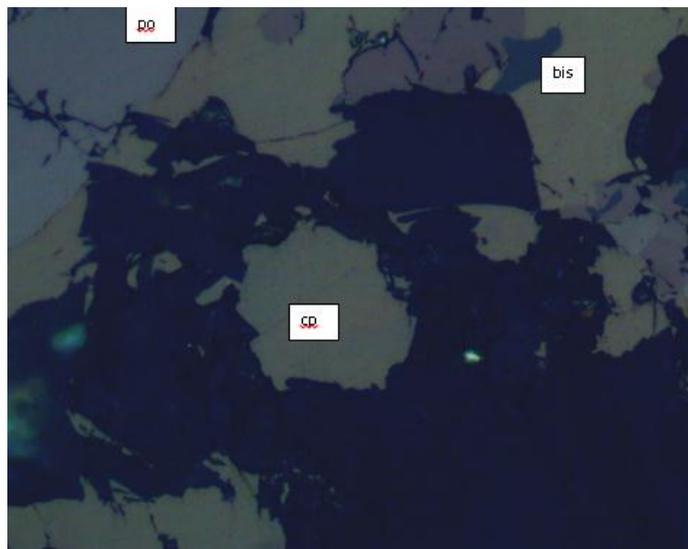


Figura 3.17. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Pirrotita en color marrón rosáceo a rosa pálido (coloreado de forma anisotrópica). Bismutinina visible en coloración gris azulado.

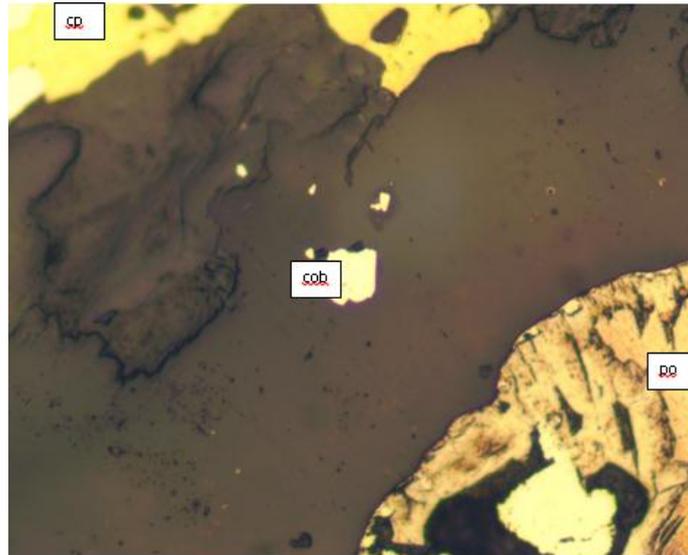


Figura 3.18. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Esfalerita mostrada en la imagen de color gris-marrón, con pequeñas reflexiones internas. Pirrotita en el color marrón-crema (coloreado de forma anisotrópica).

Cobaltina presentando una coloración blanca, isotrópica. Reflectividad mucho mayor al resto de minerales presentes. Presenta una estructura y clivaje iguales a los de la microscopía electrónica.

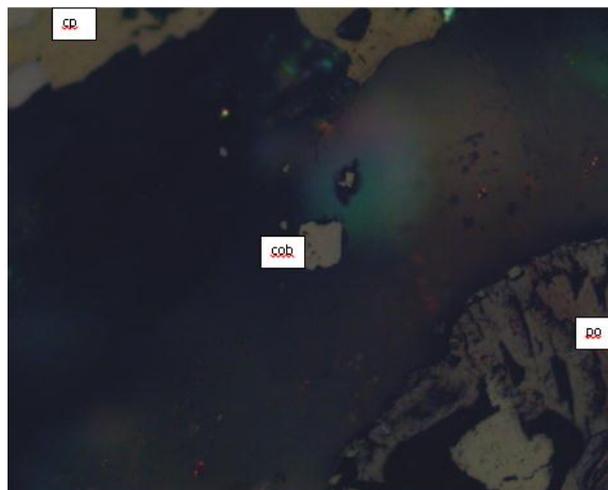


Figura 3.19. Identificación de minerales

Fuente: Autor

Descripción: Calcopirita identificada por su particular color amarillo latón. Pirrotita en color marrón (coloreado de forma anisotrópica). **Cobaltina** en color blanco.

3.4 Análisis SEM

La microscopía electrónica por barrido (SEM) fue utilizada para determinar de manera cualitativa la composición química que se encuentran en cada una de ellas en las cuales el tamaño del diámetro de la partícula es inferior a 10 μm .

A continuación, se muestra el estudio por SEM en diferentes puntos de la muestra:

Muestra 1

En la muestra número uno se realizó tres test en diferentes puntos de la muestra, la **figura 3.20** representa el análisis de la prueba 1 donde se observa zonas blancas que se relacionan con minerales de Fe familiarizado con feldespatos y cuarzo (tonos grises).

Tabla 2 Puntos de medición con su respectiva composición química en Muestra 1-Test 1

Puntos de medición	Composición química
1	Cu, Fe, S
2	Cu, Fe, S

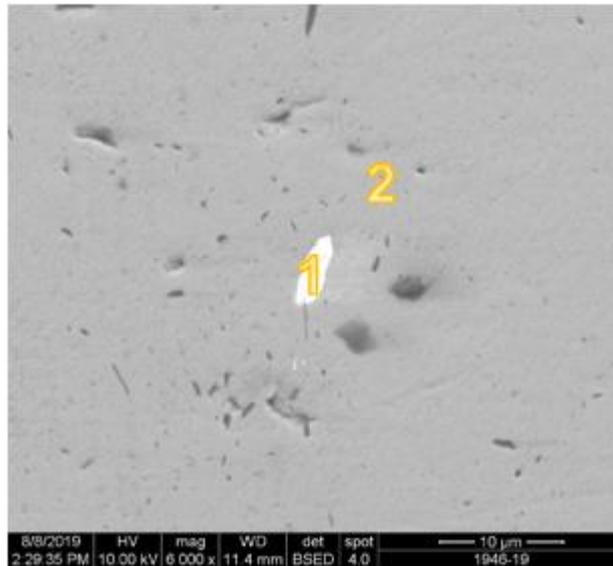


Figura 3.20. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición

Fuente: Autor

En cada punto evaluado por método SEM, se le aplicó un análisis de difracción por rayos X (DRX) detallando el resultado cuantitativo del porcentaje de todos los elementos químicos que se reconocieron en el análisis.

La figura detalla con el peso en porcentaje de la composición química de cada elemento que se detectó en el Punto 1.

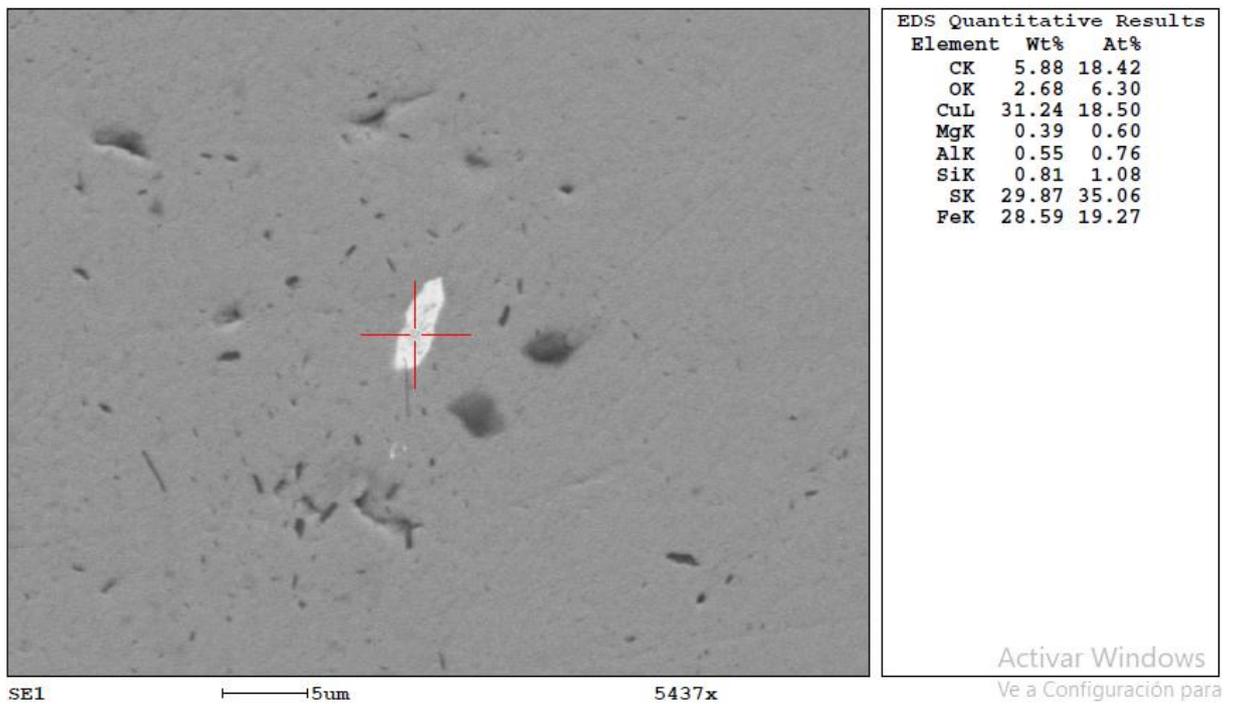


Figura 3.21. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición

Fuente: Autor

Adicionalmente, se tiene el espectro de Rayos-X en el punto 1 donde se representa en forma de gráfica el porcentaje de peso de: C, O, Fe, S, Si y Mg en donde se observa que existe picos elevados de Fe, S y Cu que son elementos químicos asociados a sulfuros como: calcopirita y pirrotina.

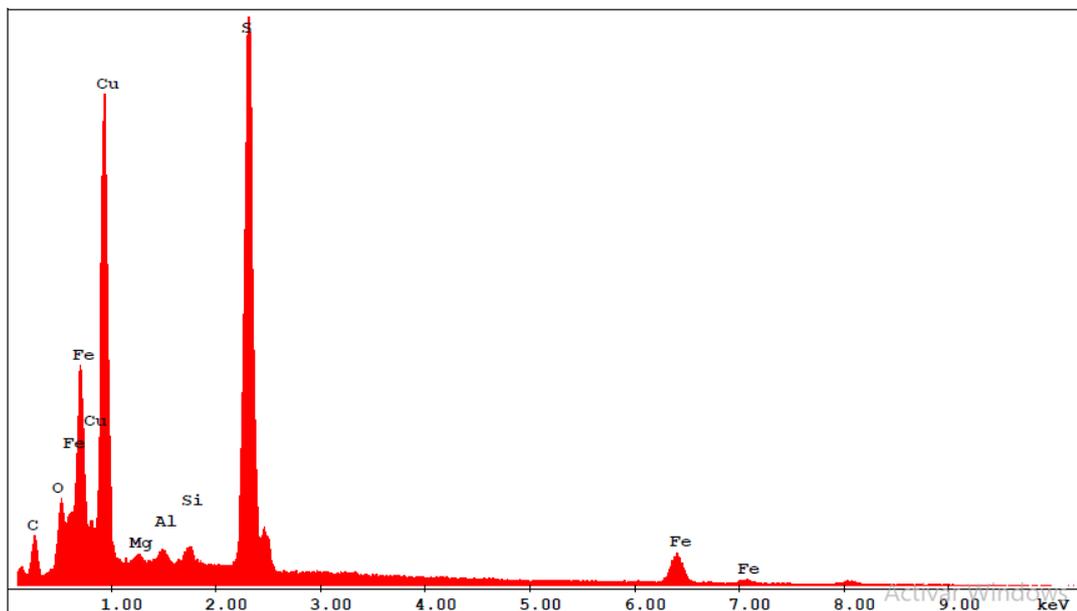


Figura 3.22. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición

Fuente: Autor

En la figura a continuación se muestra el peso de los minerales expresado en porcentaje de la prueba 2 donde se encuentra asociado cobaltita en presencia de cuarzo y pirita.

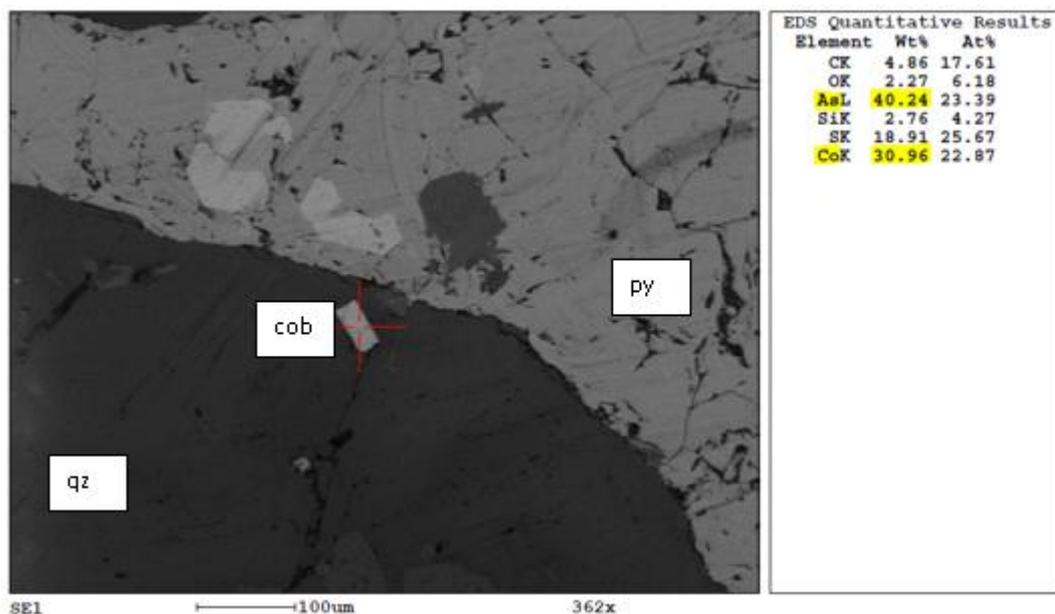


Figura 3.23. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición

Fuente: Autor

Muestra 2

La muestra 2 como se había mencionado antes es considerado un material de transición por lo que posee características similares de la Muestra 1 y 3 para esta muestra se hizo 3 test, cada uno de ellos en diferentes puntos.

La Tabla 3 muestra los puntos de medición en la prueba 1 junto a la composición química de los elementos con mayor peso expresado en porcentaje

Tabla 3 Puntos de medición con su respectiva composición química en Muestra 2-Test 1

Puntos de	Composición
-----------	-------------

medición	química
1	As, Co, S
2	As, S, Co
3	Si, O
4	Fe, S
5	Fe, S, Cu, O

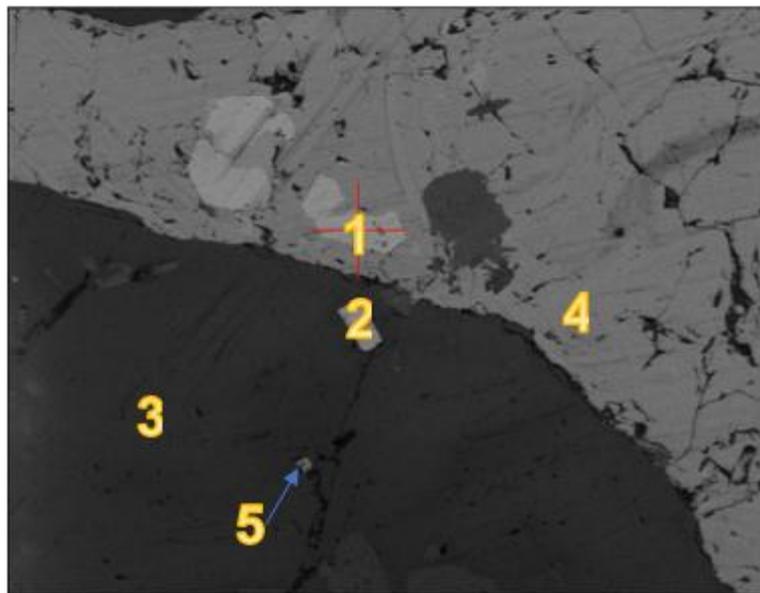


Figura 3.24. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición

Fuente: Autor

En el espectro de Rayos-X de los **Puntos 4 y 5** que se muestra que las **Figura 3.24** los elementos químicos que prevalecen al igual que en la muestra 2 son: Fe, S y Cu los cuales son característicos de minerales como: calcopirita, pirrotita, pirita y marcasita.

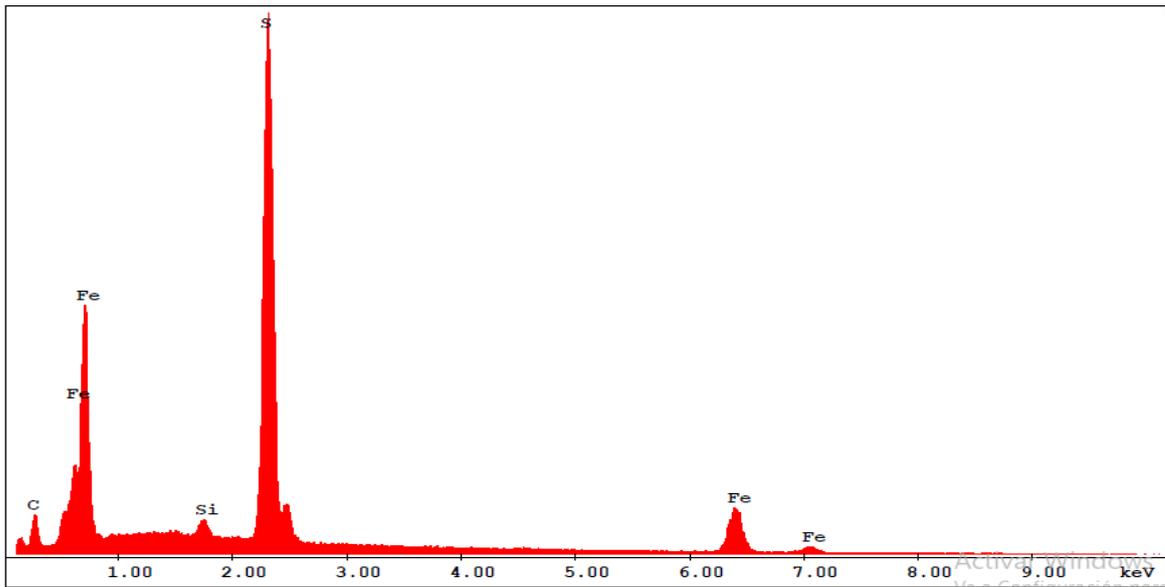


Figura 3.25. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición

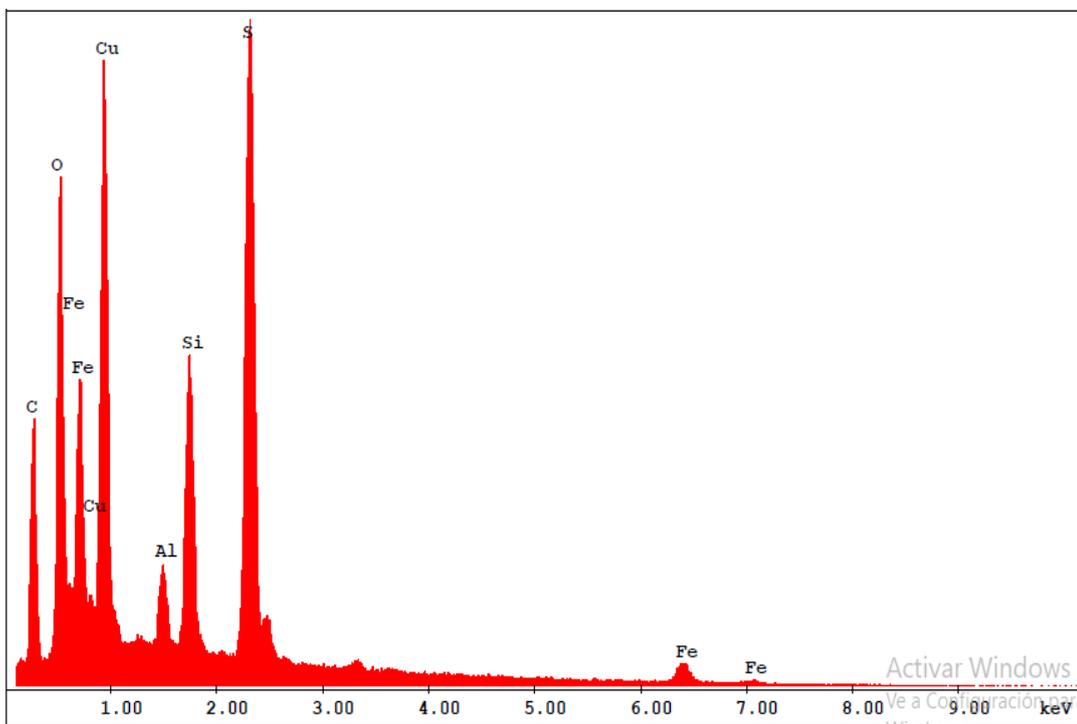


Figura 3.26. Fotomicrografía de SEM de la Muestra 1-Test 1 evaluando en dos puntos de medición

La **Tabla 4** muestra los puntos de medición en el Test 3 junto a la composición química de los elementos con mayor peso expresado en

Tabla 4 Puntos de medición con sus respectivas composiciones químicas en Muestra 2-Test 3

Puntos de medición	Composición química
1	Bi, Ag
2	Bi, O, Si
3	Fe, O, Si, Ag
4	C, O, Ag

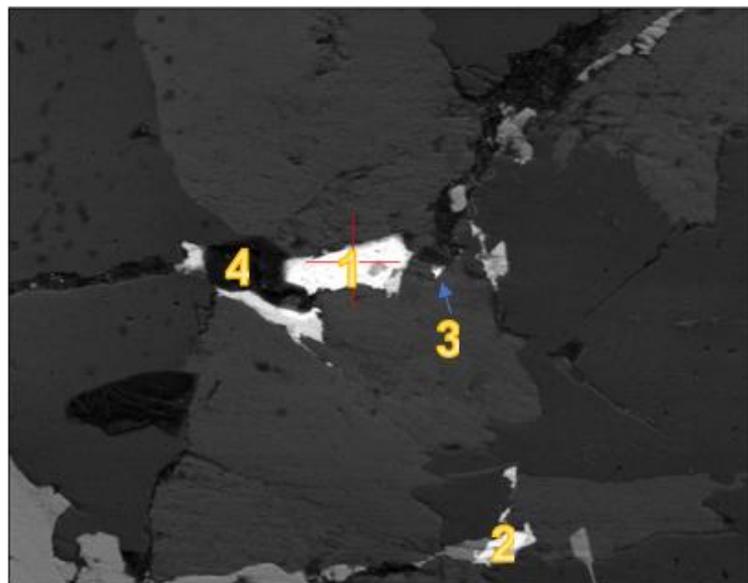


Figura 3.27. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 3 evaluando en 4 puntos de medición

Fuente: Autor

La Figura 3.28 muestra el porcentaje de peso de todos los elementos químicos encontrados en el SEM, se identifica que la Plata está asociado al bismuto y cobalto, posiblemente matildita con impurezas de Co, o posible schneebergita con impurezas de Ag.

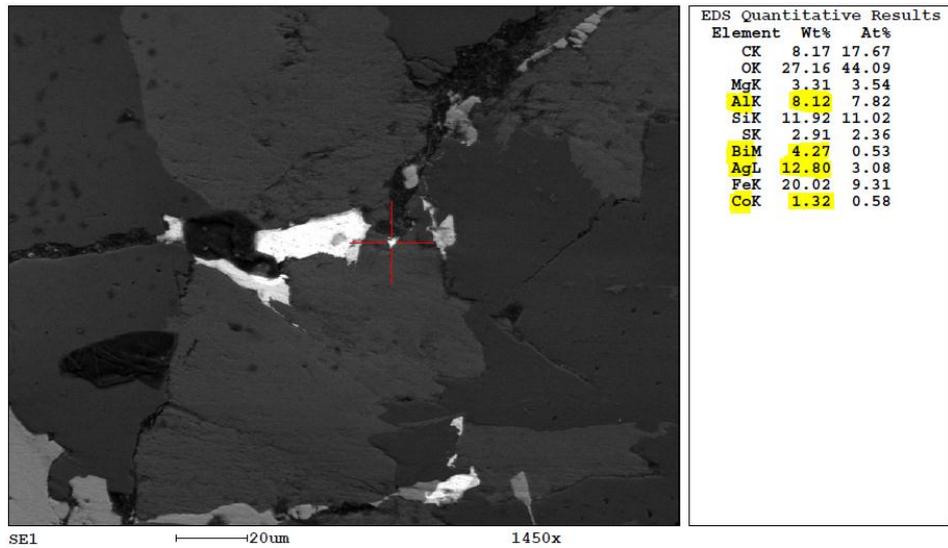


Figura 3.28. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición

Muestra 3

El análisis de SEM muestra alto porcentaje de Bismuto y Teluro los cuales se lo puede asociar al mineral Tetradimita.

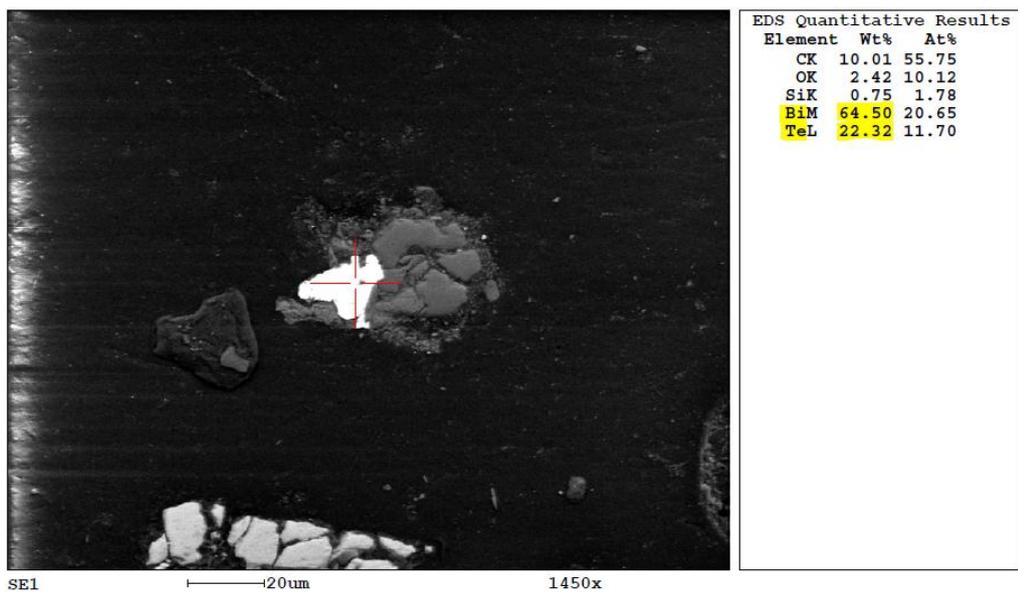


Figura 3.29. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición

En la Figura 3.30 se encuentra alto porcentaje de azufre y hierro, estos elementos están asociados a la piritita y calcopiritita en los puntos señalados. Calcopiritita en el punto señalado.

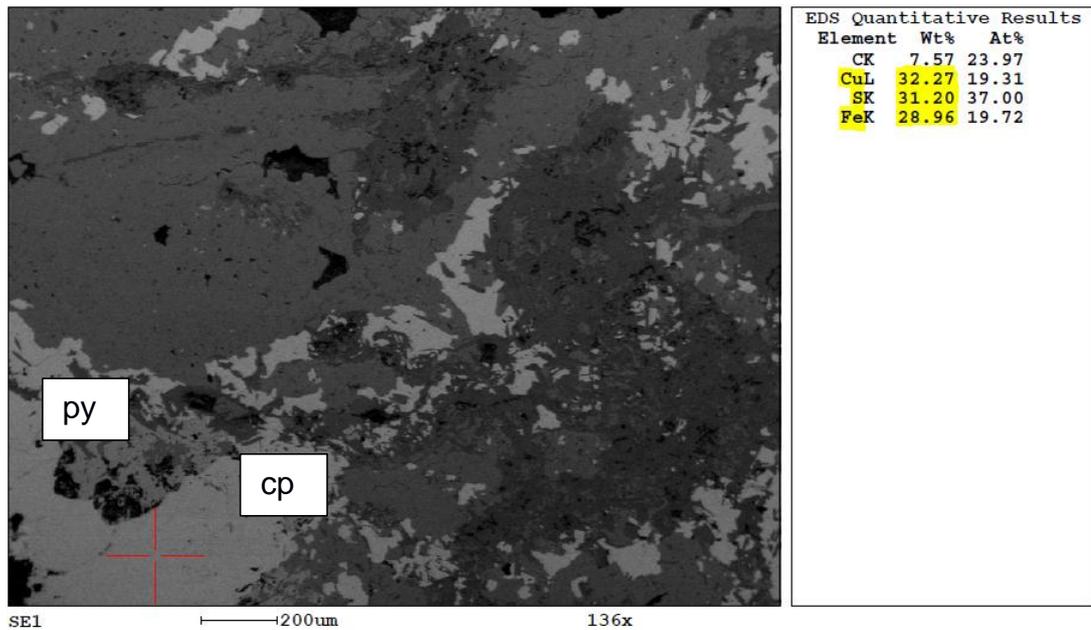


Figura 3.30. Fotomicrografía de SEM del Muestra 2-Test 1 evaluando en 5 puntos de medición

3.5 Resultados de cianuración

La primera muestra de 1Kg a cianurar tiene un 80% de partículas que pasan la malla 140 (con 100μm de tamaño), lo que representa un d_{80} =M140.

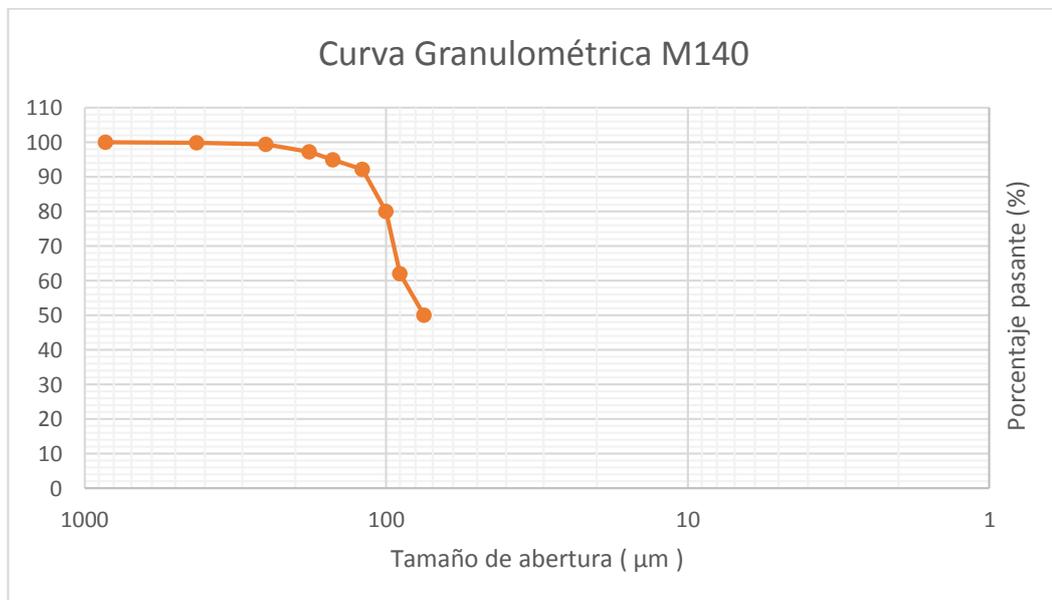


Figura 3.31. Distribución granulométrica de la muestra M140

La segunda muestra de 1Kg a cianurar tiene un 80% de partículas que pasan la malla 200 (con 75μm de tamaño), lo que representa un d_{80} =200.

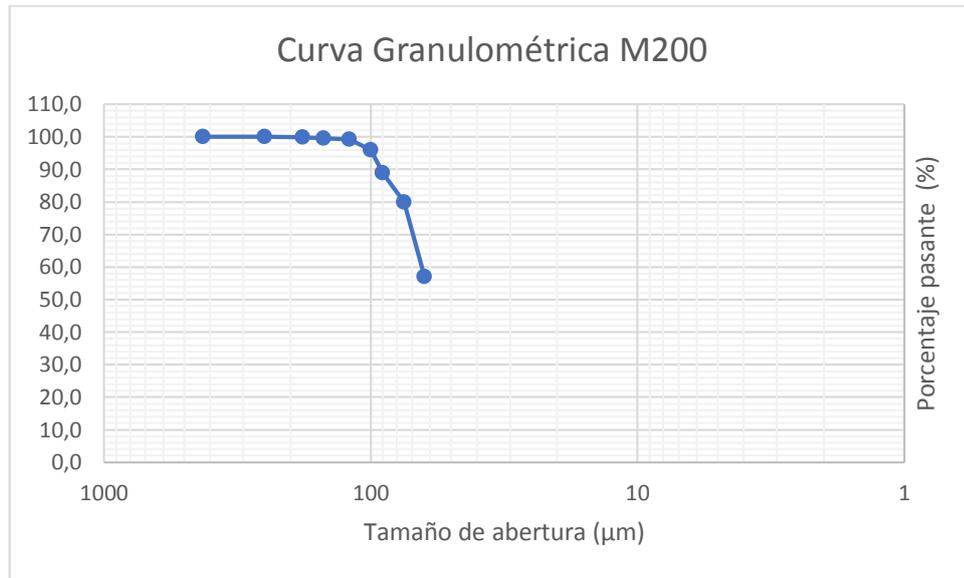


Figura 3.32. Distribución granulométrica de la muestra M200

Se utilizaron alrededor de 8.49 g de NaCN en el primer ensayo de cianuración.

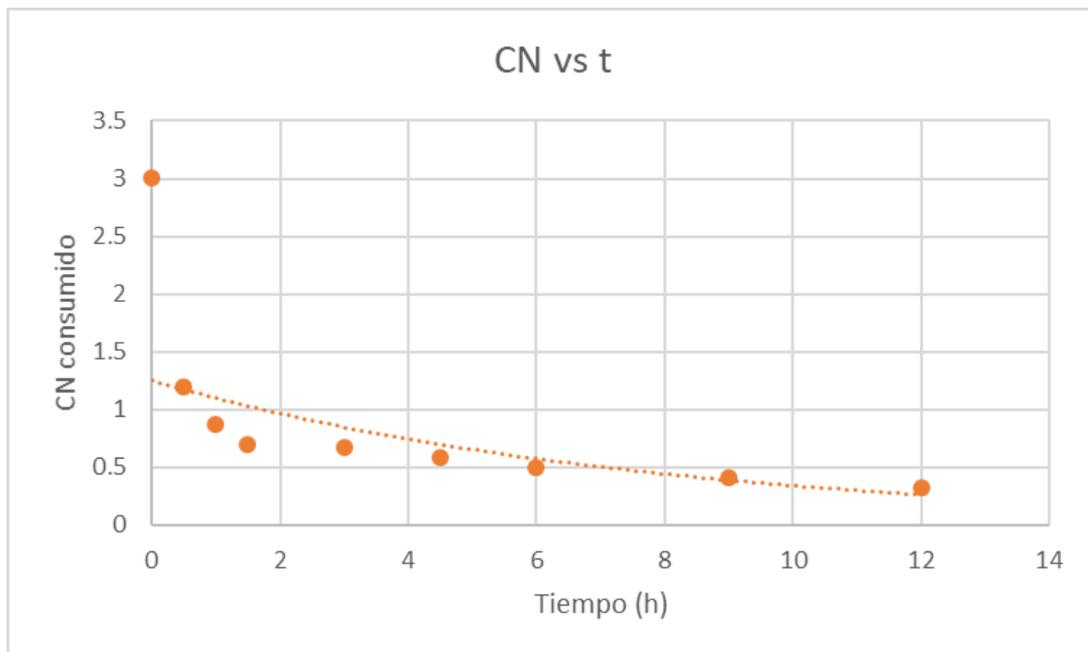


Figura 3.33. Cianuro consumido en 12 horas, muestra M140

Se utilizaron alrededor de 7.8 g de NaCN en el segundo ensayo de cianuración.

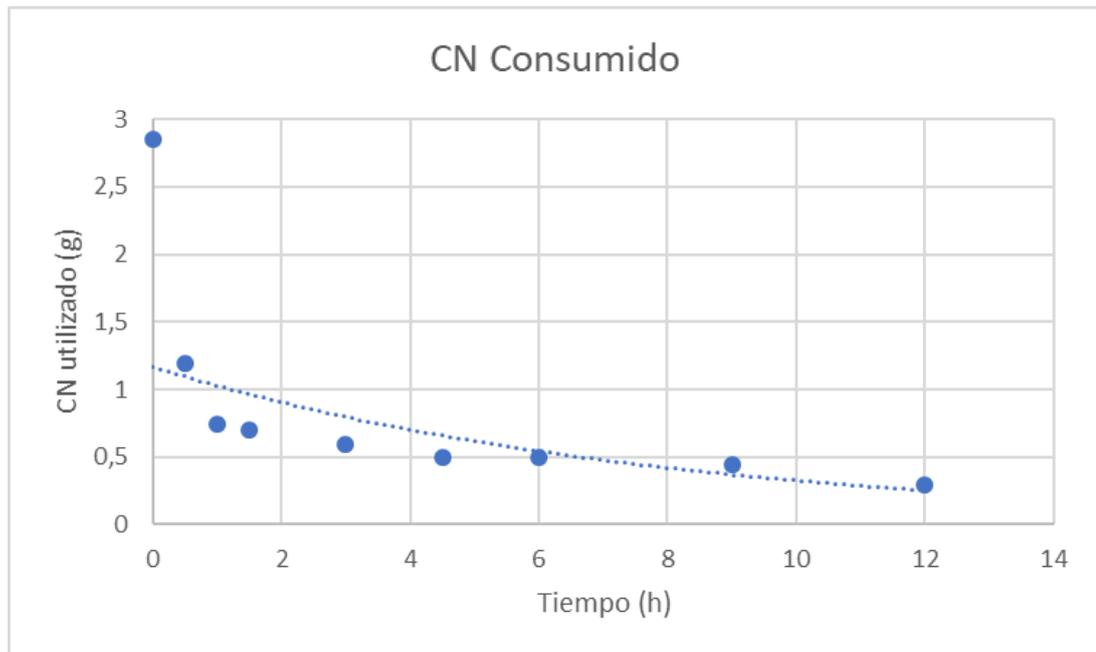


Figura 3.34. Cianuro consumido en 12 horas, muestra M200

Se recuperó 2,79 ppm de Au en la primera muestra cianurada.

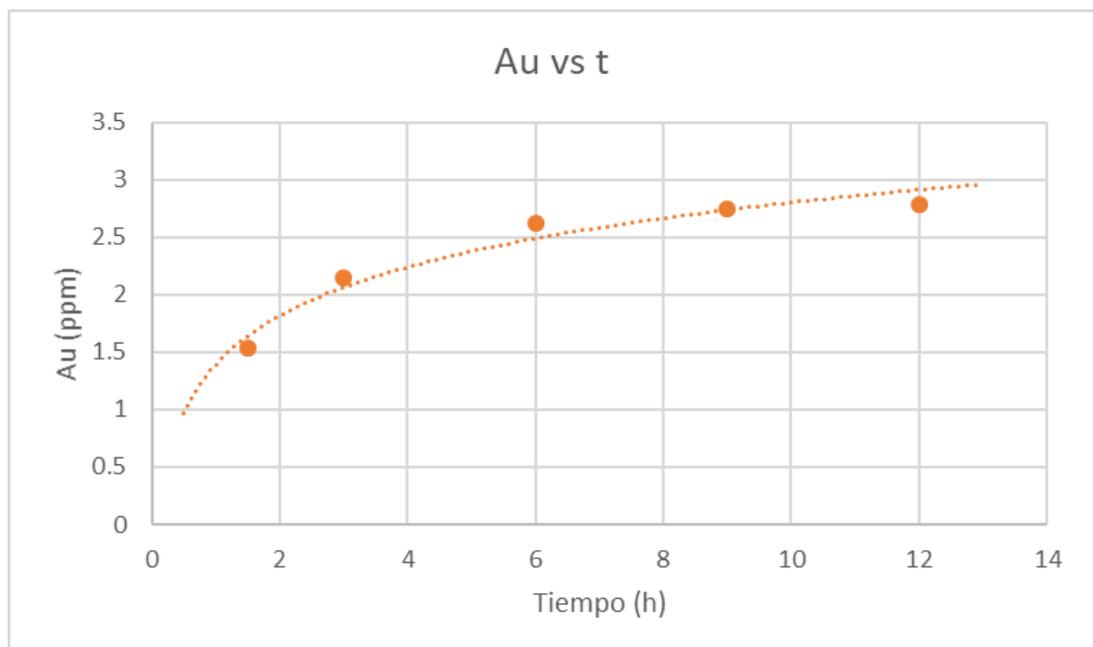


Figura 3.35. Au recuperado en 12 horas, muestra M140

Se recuperó 2,5 ppm de Au en la segunda muestra cianurada.

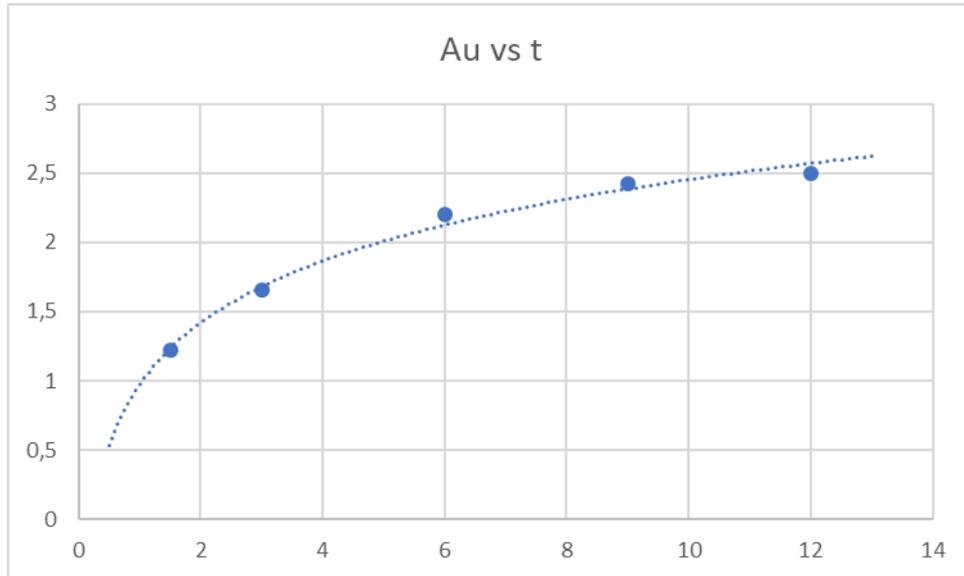


Figura 3.36. Au recuperado en 12 horas, muestra M200

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El Au se encuentra principalmente en asociaciones minerales, como a teluros (calaverita) y en forma de aleación Au-Ag (electrum), ya que no se pudo identificar Au libre en el SEM, así como la recuperación por cianuración no fue eficiente.
- La mineralogía del material estudiado se compone mayormente de sulfuros de Cu, Fe, As, Sb, y Bi asociado a Co, Ag.
- La recuperación de Au fue de 2.6 g/T Au, que representa el 32% del total de Au.
- Mineralógicamente se estima una concentración de 6-10 % Cu y 40-90 g/T Ag en la muestra estudiada.
- La abundancia de Pirrotita (altamente magnético), Pirita, Marcasita y Arsenopirita nos indica un exceso de Fe y S en la mena, que genera un medio muy ácido lo que dificulta la cianuración. Estos minerales tienen formulas químicas similares, pero tienen distintos sistemas de cristalización, el cual indica que este depósito hidrotermal de alta sulfuración tuvo distintos eventos de mineralización, con lo que se explica la presencia de alta ley de metales de interés económico (así como también la cantidad de asociaciones en que se encuentra).

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios mineralógicos más especializados para identificar los minerales refractarios que contienen el mineral de interés económico.

- Se recomienda realizar estudios posteriores con distintas granulometrías y diluciones.
- Realizar pruebas de flotación selectiva y bulk, además de pruebas con pretratamiento antes de un proceso hidrometalúrgico para optimizar la recuperación del mineral de interés económico.

BIBLIOGRAFÍA

5. REFERENCIAS

- Adolfo, G. (2007). Caracterización geometalúrgica de minerales auríferos . *Investigación aplicada e innovación*, 90-95.
- Amstutz, G., & Giger, H. (1972). Estereological methods applied to mineralogy, petrology, mineral deposits and ceramics. *Journal of microscopy*, 145-164.
- Behar, D. (2008). Proceso. En D. Behar, *Metodología de la investigación* (págs. 26-81). Shalom 2008.
- Borja, T., & Moreno, J. (2015). *Estudio para la optimización de un circuito flotación-cianuración de concentrados sulfurosos en la planta de beneficio La Lopez para el procesamiento del mineral de la mina Jerusalén en el cantón Camilo Ponce Enríquez. Tesis de grado*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Choque, O., Marcondes, Pollman, H., & Gomes, B. (2006). Cuantificación mineral de menas complejas por análisis digital de imágenes de microscopía electrónica de barrido. *Revista metalúrgica UTO*, 25-31.
- Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente. ICME. (2001). *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. Ontario: The international council on metals and the environment.
- Dávila, G. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales . *Laurus*, 180-205.
- Departamento de cristalografía y mineralogía. (12 de Agosto de 2019). *Mineralogía I*. Obtenido de Universidad complutense de Madrid: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15563/Guión%20de%20prácticas.pdf>
- Fernández, R. (2015). Apuntes didácticos de geología de minas. *Geología de minas*, 1-31.
- Geologíaweb. (30 de Abril de 2019). *Densidad de las rocas*. Obtenido de Geologíaweb: <https://geologiaweb.com/geofisica/gravimetria/densidad-rocas/>
- Gurland, J. (1958). The measurement of grain contiguity in two phase alloy. *Trans. AM. Inst. Min. Met. Engrs*, 212.

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativos y cualitativos, sus similitudes y diferencias. En R. Hernández, C. Fernández, & P. Baptista, *Metodología de la investigación. Sexta edición* (págs. 2-20). México D.F.: McGraw-Hill-Interamericana.
- Hinojosa, O. (2002). Oxidación de sulfuros: importante proceso de pretratamiento. *Revista de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales*, 31-41.
- Jeulin, D. (1981). Mathematical morphology and multiphase material. *Proc. 3rd European Symposium on Stereology*, 265-286.
- Katayama, R. (2014). Metodologías y estrategias de la investigación. En R. Katayama, *Introducción a la investigación cualitativa: Fundamentos, métodos, estrategias y técnicas* (págs. 41-46). Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Lantes, O., Prieto, P., & Martínez, A. (2011). Aplicación de la microscopía electrónica de barrido al estudio de los acabados de cerámica antigua de Galicia. *Gallaecia*, 117-125.
- López, A., & Bosch, J. (1971). Obtención de las secciones pulidas utilizadas en los métodos cuantitativos. *Acta geológica hispánica*, 74-77.
- Marcos, C., & Moreiras, D. (1984). Obtención de secciones pulidas en muestras granuladas utilizadas en la toma de medidas de reflectancia. *Trabajos de geología*, 217-220.
- Mejgarejo, J., Proenza, J., Galí, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, 1-23.
- Melgarejo, J., Proenza, J., Galí, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la sociedad geológica Mexicana*, 1-23.
- Mendoza, J. (2012). La teoría en la investigación científica: marco teórico, modelos y medición. En J. Mendoza, *Metodología para investigación de alto impacto en las ciencias sociales* (págs. 47-94). Nuevo León: DYKINSON.
- Michaelsen, H., Nielsen, B., & Lindergren, M. (14 de Agosto de 2019). *Acerca de la mineralogía y las láminas delgadas*. Obtenido de Struers: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Special-applications/Mineralogy-and-Thin-sectioning#mineralogy-how-to>

- Miranda, S., & Suárez, J. (1983). Cianuración del mineral de Oro de El Callao. *Latin america journal of metallurgy and materials*, 118-132.
- Monje, C. (2011). Fases y etapas de la investigación cuantitativa. En C. Monje, *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía diáctica* (págs. 19-30). Neiva: Universidad surcolombiana.
- Orozco, P., Branch, J., & Jiménez, J. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones pulidas a través de programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 5-9.
- Pascual, C. M. (5 de Julio de 2019). *Clasificación y sistemática mineral*. Obtenido de Universidad de Oviedo: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/721/mod_resource/content/1/1C_C11812_A/contenidos%20en%20pdf%20para%20descargar/23.pdf
- Quimitube. (4 de Agosto de 2019). *Gravimetría: definición, fundamento teórico y procedimiento*. Obtenido de Quimitube: <http://www.quimitube.com/gravimetria-definicion-fundamento-teorico-y-procedimiento>
- Salinas, E., Rivera, I., Carrillo, R., Patiño, F., Hernández, J., & Hernández, L. (2004). Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono. *Revista de la Sociedad Química de México*, 315-320.
- Sánchez, B. (2003). *La investigación científica: Teoría y metodología*. Zacatecas: Universidad Autónoma de Zacatecas.
- SEDICI. (5 de Julio de 2019). *Técnicas de caracterización. Conceptos generales*. Obtenido de Repositorio Institucional del UNLP: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2681/IV__Técnicas_de_caracterización._Conceptos_generales.pdf?sequence=8
- Servicio geológico mexicano. (14 de Agosto de 2019). *Propiedades físicas*. Obtenido de SGM: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Propiedades-Fisicas.html>
- Tam, J., Vera, G., & Oliveros, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Revista de Escuela de Posgrados*, 145-154.

- Tercer Milenio S.C. (2012). Fundamentos introductorios a la investigación. En S. Gomez, *Metodología de la Investigación* (págs. 5-17). Viveros de la Loma: Tercer Milenio.
- Tercer Milenio S.C. (2012). Fundamentos introductorios a la investigación. En S. Gomez, *Metodología de la investigación* (págs. 5-17). Viveros de Loma: Tercer Milenio.
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo . (15 de Octubre de 2018). *Aplicación básica de los métodos científicos "Los enfoques en la investigación científica"*. Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo : https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES39.pdf
- Universidad Complutense de Madrid. (2014). El método de investigación científica. En R. Calduch, *Métodos y Técnicas de investigación internacional. Segunda edición* (págs. 28-38). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Universidad del país Vasco. (14 de Agosto de 2019). *Técnicas a utilizar*. Obtenido de EHU: <http://www.ehu.es/imacris/PIE06/web/DRXP.htm>
- Universidad Nacional del Nordeste. (5 de Julio de 2019). *Geología. Clasificación de los principales tipos de minerales y rocas*. Obtenido de Facultad de ciencias exactas y naturales y agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste: <http://exa.unne.edu.ar/carreras/docs/03%20GEOLOG%C3%8DA%20tema%203.pdf>
- Yáñez, J., García, I., Pedraza, J., & Laverde, D. (2005). Caracterización de los minerales auríferos de la zona minera de San Pedro Frío (bolívar-Colombia), para la selección de los procesos de extracción. *DYNA*, 23-35.

APÉNDICES

APÉNDICE A