UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

T E S I S

Caracterización mineralógica de la calcopirita y su impacto en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Yoel Antonio GUERRA VADILLO

Asesor: Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

T E S I S

Caracterización mineralógica de la calcopirita y su impacto en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO	**Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO**
PRESIDENTE	**MIEMBRO**

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios fundamentalmente quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

a mi familia por ellos soy lo que soy, para mis padres por haberme dado el regalo más preciado al igual que la vida mi profesión, por la cual viviré eternamente agradecido.

A mis hermanas y los ingenieros, los amo infinitamente, por su apoyo incondicional, su cariño y por confiar siempre en mí.

RECONOCIMIENTO

A mis maestros que, en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

A mis hermanos que desde siempre me han enseñado que con perseverancia y paciencia todos los sueños se pueden hacer realidad, gracias por todo su apoyo incondicional.

Finalmente, un agradecimiento especial a todos los Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica por sus enseñanzas, consejos, comprensión y recomendaciones para mi desarrollo profesional dentro del ámbito minero.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar el ratio de concentración promedio entre mineral: concentrado; después de tener la certeza de las reservas cubicadas probables de cobre y sobre la formación geológica, elaborar el sistema de extracción y procesamiento.

Este estudio se aborda desde el enfoque cuantitativo, del tipo aplicado y un diseño de investigación experimental y tiene cuatro etapas de desarrollo de la investigación del siguiente modo: el primero después de realizar el muestreo aleatorio simple para obtener la muestra representativa del volumen total de mineralización existentes en la concesión, se observó ocho frentes de explotación. Las muestras presentan una apreciable cantidad de cobre, en minerales sulfurosos como son: calcopirita, bornita y covelita, sin obviar a los minerales silíceos como ganga. En base a estos datos se ha diseñado el sistema de caracterización mineralógica y posterior flotación experimental.

Se concluyó que las pruebas de caracterización mineralógica y flotación experimental, demuestran obtener concentrados con valores de 24% de cobre y con un ratio de 4,16, muy distante a los que emite la planta concentradora que nos permite procesar el mineral.

Palabras claves: Caracterización mineralógica, ratio de concentración, flotación.

ABSTRACT

This research had as a general objective to determine the ratio of average concentration between ore: concentrated; After having the certainty of the probable cubed copper reserves and the geological formation, make the extraction and processing system.

This study is approached from the quantitative approach, of the applied type and an experimental research design and has four stages of research development as follows: the first one after performing the simple random sampling to obtain the representative sample of the total volume of mineralization existing in the concession, eight fronts of exploitation were observed. The samples present an appreciable amount of copper, in sulphurous minerals such as: chalcopyrite, bornite and covelite, without ignoring siliceous minerals as a bargain. Based on these data, the mineralogical characterization system and subsequent experimental flotation have been designed.

It was concluded that the tests of mineralogical characterization and experimental flotation, demonstrate to obtain concentrates with values of 24% of copper and with a ratio of 4.16, very distant to those emitted by the concentrator plant that allows us to process the mineral.

Keywords: Mineralogical characterization, concentration ratio, flotation.

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de la universidad es la investigación. La generación de conocimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas en el mundo proponen un modelo curricular por competencias destinado a la formación del nuevo profesional capaz de resolver problemas sustanciales de la sociedad e innovar el conocimiento.

La tesis es la prueba "de fuego" que demuestra las competencias requeridas para obtener el grado académico. Se espera de ella una evidencia indiscutible de las competencias de investigación aprendidas en las aulas universitarias y se aplique al campo profesional.

El presente proyecto, titulado "*Caracterización mineralógica de la calcopirita y su impacto en la producción de concentrados de cobre en minera Estefany s.a.a. – Pachacayo – Jauja - 2019*", es interesante porque se trata de un afloramiento interesante en minerales sulfurosos y que requiere una explotación ecológica y sostenible.

Los estudios desarrollados a través del muestreo y posterior tratamiento confirman que la concentración de cobre tiene ratios menores a los que reporta la planta concentradora San Martín, a quién se le solicita sus servicios. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los proyectos de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I, Se determina la problemática, para formularlo en preguntas, sobre como caracterizar a los minerales de cobre, con las sub preguntas que consisten en el análisis microscópico y pruebas de flotación. Su objetivo está referido a demostrar las características mineralógicas de material en explotación, justificando la presente investigación, dada la importancia que significa llevarlo a explotar el yacimiento en forma sostenible.

CAPÍTULO II, Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las bases teóricas desde una perspectiva general a específica de la microscopía de minerales; hasta definir el ratio promedio de mineral: concentrado para la respectiva valoración y rentabilidad de la mina; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III, Comprende el método de investigación: experimental; nivel experimental y tipo aplicativo, con diseño experimental, sobre una población que corresponde a una campaña de 300 toneladas métricas/mes; Cubicando la concesión y sobre ello diseñar el método de muestreo a seguir.

CAPÍTULO IV, Los cálculos procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas y ecuaciones, para luego la hipótesis ser contrastada, demostrándose que el nivel de aceptación de los datos es correcto al rechazar la hipótesis nula.

Se concluye que el yacimiento es prometedor; las leyes de cobre existentes demostradas en las campañas desarrolladas y la etapa de concentración por flotación a nivel laboratorio sugieren que la rentabilidad es mayor del proyecto.

El autor.

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio 5
2.2. Bases Teóricas – Científicas 9
2.3. Definición de Términos Básicos 20
2.4. Formulación de Hipótesis 21
2.4.1. Hipótesis general 21
2.4.2. Hipótesis específicas 22
2.5. Identificación de Variables 22
2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores 22

CAPÍTULO III

METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación 24
3.2. Métodos de Investigación 24
3.3. Diseño de Investigación 25
3.4. Población y Muestra 25
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 26
3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos 28
3.7. Tratamiento Estadístico 38
3.8. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación 38
3.9. Orientación Etica 39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo 40
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados 40
4.3. Prueba de Hipótesis 54
4.4. Discusión de Resultados 57

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Inclusiones frecuentes control mineralógico de procesos metalúrgicos.	16
Tabla 2	Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales.	18
Tabla 3	Desgaste de las briquetas con abrasivos.	33
Tabla 4	Etapas de pulido de las briquetas.	35
Tabla 5	Etapas de lapeado para cada plaqueta.	37
Tabla 6	Tabla de colores de interferencia de Michel Levy.	38
Tabla 7	Niveles y valores de los factores.	39
Tabla 8	Diseño factorial.	40
Tabla 9	Peso específico medio del mineral.	43
Tabla 10	Análisis de mallas del compósito.	44
Tabla 11	Análisis de mallas del compósito.	45
Tabla 12	Análisis de mallas del compósito.	46
Tabla 13	Análisis químico promedio.	47
Tabla 14	Consolidado de las pruebas de flotación.	55
Tabla 15	Prueba de primera hipótesis específica.	57
Tabla 16	Prueba de segunda hipótesis específica.	58

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En Minera Estefany, se explota bajo el sistema de minería subterránea, en siete niveles el yacimiento que tiene, vetas mineralizadas de cobre bajo la presentación de calcopirita y bornita asociado; desde que es extraído el mineral, la roca atraviesa una serie de procesos que finalmente terminan como concentrados procesados en la planta concentradora San Martín ubicado en el distrito de Huari – Yauli, para finalmente comercializarlo.

La respuesta de la roca en cada una de las etapas de este proceso está determinada en mayor o menor medida por la mineralogía, ya sea en la etapa de chancado y molienda, donde la dureza de la roca depende de los minerales que la componen, las fracturas presentes y el grado de meteorización, o en la etapa de flotación, donde las características de la mena y ganga definirán el nivel de recuperación del elemento de interés.

La mineralogía del material con el que se alimenta la planta es conocida mediante la información contenida en el modelo geológico del yacimiento, realizado a partir de los datos entregados por el análisis de los sondajes rescatados y los reportes del laboratorio químico.

El proceso productivo está a cargo de la planta concentradora de terceros, diseñado para que las menas de Cu se concentren, y la ganga se vaya en los residuos. Al existir problemas de recuperación se hacen suposiciones a partir de esta premisa, pero: ¿es el comportamiento teórico o esperado igual al real?

Estos problemas en el proceso productivo afectan directamente a los costos y la producción de la compañía. Es por esto que un conocimiento acabado de la mineralogía y su respuesta durante el proceso productivo es clave para prevenir y sanear estos problemas de manera más rápida y efectiva.

1.2. Delimitación de la Investigación

Espacial

El desarrollo del presente trabajo se ejecutará en una sola unidad económica administrativa en minera Estefany S.A.A.

Temporal

El trabajo de investigación comprende diez meses (enero – octubre del 2019).

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿La caracterización mineralógica de la calcopirita influirá en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Será posible caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019?
- ¿Será posible diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar la caracterización mineralógica de la calcopirita en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019
- Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019

1.5. Justificación de la Investigación

El presente trabajo pretende demostrar cual es el ratio de mineral de mina a concentrado; entendiéndose que en planta en función a la ley de cabeza, se ha observado que la planta concentradora requiere un 20 % más de mineral de mina

para obtener el producto con las características mínimas que el mercado requiere; lo cual eleva los costos de producción y reduce las utilidades de la empresa.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones que se presentó en la investigación son la falta de microscopia electrónica de barrido y espectrofotometría de absorción atómica, para analizar profundamente, todos los componentes existentes en el mineral de cobre.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio

Antecedentes Internacionales

Contreras, L. (2015) en su Tesis para optar el título de Geólogo "*Caracterización mineralógica del proceso metalúrgico y su impacto en la producción de concentrados de Cu y Mo en CMDIC*" Universidad de Chile, concluye: En las primeras etapas del proceso productivo, representadas por las muestras correspondientes a mina (P1), alimentación (P2) y tranque de relaves (P3), son los minerales de ganga, como cuarzo, plagioclasa, feldespato, muscovita y biotita, los que están presentes en mayor proporción. Desde el concentrado colectivo (muestra P4) el panorama cambia y son las menas de Cu (calcopirita y bornita principalmente) y Mo (molibdenita) los minerales que presentan mayor concentración.

Al contrastar el comportamiento real de los minerales con el esperado, se observó que coincidían para las especies más relevantes, dado el contexto de una mina que produce concentrado de Cu y Mo; la calcopirita y la bornita, junto a las otras menas de Cu, aumentan su concentración en el concentrado colectivo y la disminuyen en el concentrado Rougher de Mo. Si bien el material que va al tranque de relaves contiene estos minerales, las concentraciones encontradas se encuentran dentro de los rangos esperables en la producción de concentrados en CMDIC. Por su parte, la concentración de la molibdenita aumenta notoriamente en la muestra del concentrado Rougher de Mo mientras que en las otras etapas del proceso la concentración es apenas mayor en comparación a la encontrada en los frentes de carguío. Mientras la mayoría de la ganga se va hacia el tranque de relaves y disminuye su concentración en el concentrado colectivo, la pirofilita y lo que Qemscan clasifica como arcillas después de disminuir su concentración en la muestra de concentrado colectivo aumentan en el concentrado Rougher de Mo. Perez, L. (2014) en la Tesis Doctoral en Minas "Caracterización automatizada de texturas de menas mediante análisis digital de imagen para su aplicación geometalúrgica", Universidad Politécnica de Madrid, concluye: Desde un punto de vista metodológico se puede concluir que el desarrollo de una metodología basada en la caracterización mineral a partir de un conjunto de índices numéricos es adecuado ya que, por un lado, estos índices pueden ser utilizados como variables discriminantes en la identificación del tipo de intercrecimiento mediante análisis discriminante y además cada índice individualmente aporta información valiosa para caracterizar el comportamiento mineralúrgico de las partículas minerales.

- Análisis del poder discriminante de los índices mineralúrgicos. El análisis de los índices mineralúrgicos bajo el punto de vista de su potencial discriminante ha puesto de manifiesto que todos los índices propuestos, tanto los desarrollados en este trabajo como los diseñados por otros autores, son adecuados y necesarios para la identificación de los tipos de intercrecimiento considerados, ya que el Análisis Discriminante ha incluido todos los índices propuestos en la generación del modelo discriminante y con ellos se ha alcanzado un 95% de acierto en la clasificación.
- Índices desarrollados por otros autores. Los índices desarrollados por Gurland (1958), Amstutz y Gicer (1972) y Jeulin (1981), adaptads en este trabajo para el análisis de partículas minerales, parecen tener bastante peso en la discriminación del tipo de intercrecimiento, ya que han sido los primeros en ser introducidos en el modelo generado por el software STATISTIC. Sin embargo, considerando un modelo discriminante basado únicamente en estos tres índices el porcentaje de casos correctamente clasificados desciende hasta el 76%.

Antecedentes Nacionales

Meza, J. (2018), en su tesis para optar el Título de Ingeniero Metalurgista y de Materiales "*Estudio geometalúrgico para optimizar el circuito de flotación separación plomo-cobre en la planta concentradora U. M. Cerro Lindo*", Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye: La optimización del circuito flotación separación plomo-cobre se alcanzó con éxito buscando respuestas óptimas gracias a las pruebas metalúrgicas y la interrelación de la regresión lineal con la mineralogía con base en las variables definidas para cada respuesta, en nuestro caso la respuesta es la optimización del circuito y como reflejo se obtienen mejores recuperación grados y calidad de concentrados tanto de cobre y plomo.

La optimización se vuelve más efectiva cuando de manera combinada asocias la experiencia, la teoría y las disciplinas que involucran la geometalurgia.

- Al determinar cómo parámetros a la granulometría y los amarres se logrará optimizar el circuito de flotación separación Plomo -Cobre ya que la complejidad que tienen las especies minerales es amplia y llevar acabo predicciones con estas nos permitirá adoptar un tratamiento metalúrgico.
- El principal problema de desplazamiento de Pb al Cu es por la presencia de plomo grueso y amarres mineralógicos en las mallas +50, +70, +100 también observándose que el 40% de plomo del total que está en cc Cu está en dichas mallas y que también se advierte la presencia de los amarres Gn/Py y Gn/Cp
- La pulpa de las SK de los molinos contiene mayor cantidad de gruesos que ingresan a la separación y se aprecia galena gruesa y una posible contaminación por excesiva flotación de Cp, Py, ef, y partículas mixtas.

  Ramos, J. (2017), en su tesis "Caracterización y evaluación de pruebas metalúrgicas de flotación de un mineral complejo polimetálico del distrito de Palca – Huancavelica", para optar el Título de Ingeniero Metalurgista, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye: La determinación del análisis químico de la muestra del Compósito General indicó: 0.95 % de plomo, 0.27 % de cobre, 3.13 % de zinc y 72.8 g/t de plata, cuyas leyes están relacionadas a la presencia de galena y geocronita para el caso del plomo; calcopirita, cobre grises y secundarios para el caso del cobre; esfalerita para el caso de zinc y para el caso de la plata se presenta en asociaciones mineralógicas con los minerales de cobre y plomo.
- Las mejores condiciones para la flotación rougher en el circuito bulk Cu-Pb se logra a un P80 de 100µm; con una dosificación de 100g/t de NaCN y 400g/t de

ZnSO4 en la etapa de molienda, 12g/t de Z-11 y 20 g/t de MIBC, a un pH de 8.5 por 6 minutos.

- Para la limpieza del concentrado bulk Cu-Pb se realizó una etapa de remolienda a un P80 de 35μm y se dosificó 200g/t de ZnSO4 y 20g/t de NaCN para 3 etapas de limpieza llevadas a un pH de 9.
- Las mejores condiciones para la flotación rougher del circuito zinc
- correspondió a una dosificación de 110 g/t deCuSO4, 7 g/t de Z-11 a pH un de 11 por 8 minutos.
- Para la limpieza del concentrado rougher de zinc se realizó una etapa de remolienda a P80 de 45 μm a pH de 11.5.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

Caracterizar mineralógicamente un yacimiento implica el conocimiento pleno de la zona de estudio que incluye las rocas, alteraciones, zonamientos etc, y lograr el aprovechamiento en forma optimizada del recurso mineral y mejorar la eficiencia en la recuperación de los minerales económicos mediante el uso de procesos más eficientes y con el conocimiento completo de la mineralogía.

Resulta imprescindible realizar las siguientes etapas de acuerdo al área visible y reservas del yacimiento:

a. Establecer tipos de minerales y rocas que se encuentran presentes en el depósito o material que va a ser sometido a un proceso de concentración.

b. Determinar las asociaciones, tamaños, textura, porcentajes, y alteraciones de los minerales presentes

c. Encontrar la relación entre los minerales para completar la información requerida para la planta metalúrgica.

d. Relacionar minerales de alteración con minerales de mena.

e. Inferir sobre el tipo de mineralogía y posibilidades de profundización de la estructura mineralizada.

f. Determinar la temperatura de los fluidos, la salinidad, dirección de los fluidos y presión confinante.

g. Definir la relación de un mineral con elementos de interés como oro, plata y otros elementos.

h. Determinar presencia de elementos como solución sólida. Entendiéndose que la caracterización mineralógica se requiere para determinar las dificultades en la recuperación por flotación la propuesta a seguir cuenta con las siguientes etapas:

a) Caracterización mineralógica piloto

Caracterización geometalúrgica de zonas representativas del yacimiento. Desde el punto de vista del tratamiento metalúrgico, la identificación de los minerales críticos e indeseables.

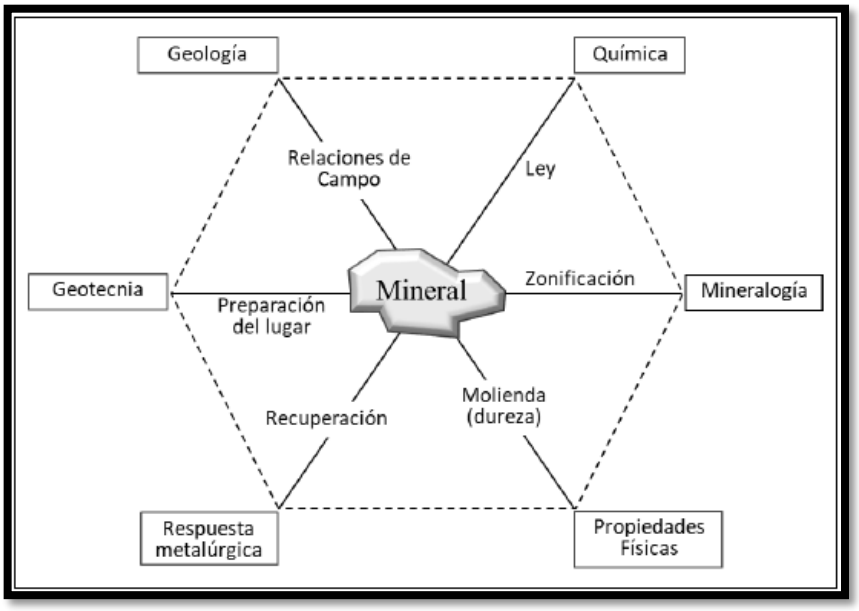
b) Modelamiento metalúrgico de las variables críticas

Esta etapa deberá ser realizada por los metalurgistas con muestras compósito representativas de las menas, en base a los resultados de la caracterización mineralógica piloto. Se debe diseñar y realizar pruebas metalúrgicas para definir el comportamiento de las menas y gangas críticas al procesarlas; así como definir los límites de especificación de los minerales críticos y su modelamiento.

c) Análisis Mineralógico Sistemático (AMS)

Plenamente identificados y modelados a los minerales críticos, así como sus combinaciones, se realizará el AMS (análisis mineralógico sistemático) de las muestras representativas para de esta manera alimentar los datos al modelo geológico tradicional basado en las leyes, alteración y litología. De esta manera se implementará el modelo geometalúrgico.

Gráfico 1. Disciplinas y su interacción en la caracterización Geometalúrgica



Fuente: Meza, J. (2018)

Análisis Mineralógico

Es una técnica dedicada a la identificación de los minerales, al conocimiento detallado de sus propiedades físicas y químicas, cuya asistencia es primordial en el desarrollo del proyecto minero.

a) El Análisis Mineralógico en la Metalurgia Extractiva

Aunque las aplicaciones son múltiples y variadas, estas pueden ser resumidas en dos:

Investigación mineralógica de menas.

Estudio de los productos provenientes del tratamiento de minerales.

El análisis químico de una mena, aparte de indicar la cantidad de elementos presentes, nos proporciona información sobre las características principales de cada uno de los minerales que constituye la mena.

Microscopia Óptica

Se usa dos tecnologías para el estudio microscópico:

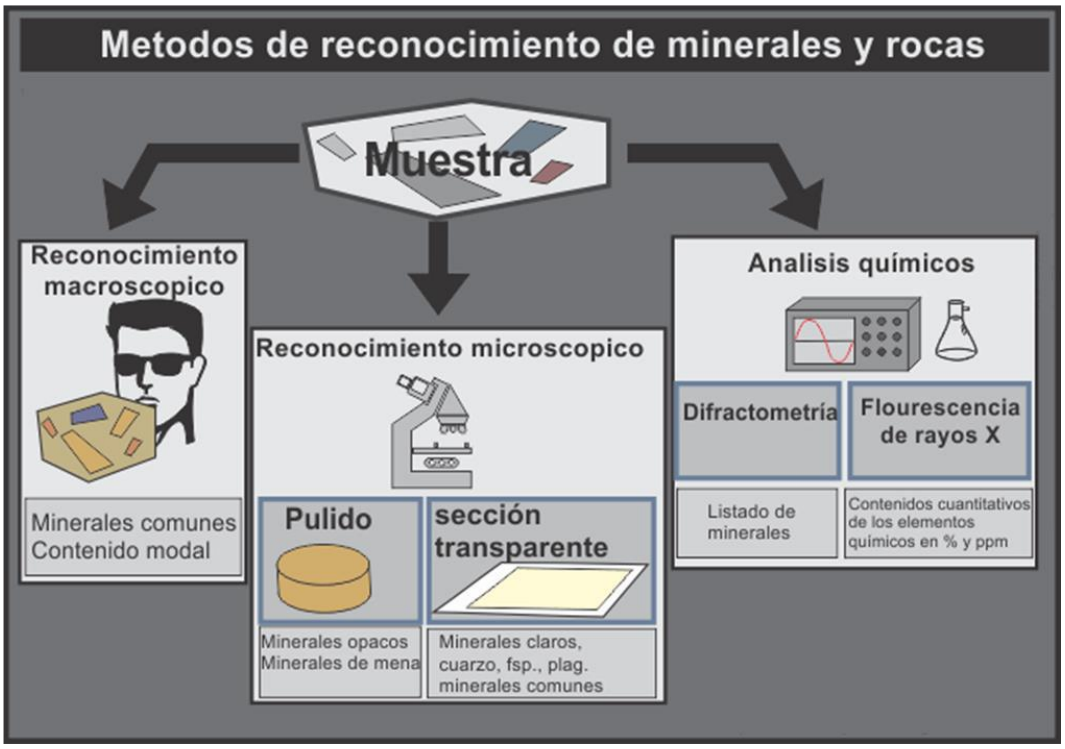
- ✓ **Microscopía Óptica (MO). -** Realiza la identificación basada esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible.

  El estudio de microscópica de rocas, minerales, asociación textural y menas es un método clásico y hasta hoy irremplazable, la microscopía de polarización y estereoscopia es un método no destructivo y potente para la determinación de sustancias sólidas (cristalinas o amorfas), posee relativamente elevada resolución espacial y además pueden se puede estudiar las relaciones texturales (estructura, fábrica, asociaciones de fases) obteniendo así importante información para comprender la génesis y composición.

  En este aspecto, la microscopía de polarización no puede ser remplazada por otras técnicas de análisis global que utilizan muestras molidas para la identificación de fases como la difracción de rayos X. La microscopía de polarización encuentra sus límites cuando la composición química de soluciones sólidas complejas necesita ser conocida o cuando el material es de grano tan fino que impide la identificación de las fases individuales. La identificación de los minerales con el microscopio de polarización se basa en las propiedades ópticas y morfológicas.
- ✓ En la **Molibdenita** es muy importante el nivel de conocimientos mineralógicos y la experiencia del investigador, lo que conlleva a la identificación específica de los minerales para el tratamiento metalúrgico, en menor tiempo y con una exactitud considerable.
- ✓ Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). - Se basa en la utilización del nivel de brillo de una imagen electrónica, generada por los rayos X que emiten los minerales sobre el campo de observación. Se requiere del apoyo de un software (QemSCAN o el sistema MLA), así como de equipos analíticos de alta precisión.

- ✓ Microscopia de luz reflejada (opacos) - aplicada a la flotación. –La aplicación en flotación está dedicada a minerales que, por su comportamiento a la luz, se les puede calificar como minerales opacos y muchos de ellos caen dentro del grupo de sulfuros y sulfosales. Por esta razón el método de la microscopía de luz reflejada es ampliamente aplicado en el estudio de las menas con estos minerales.

Gráfico 2. Métodos de reconocimiento de minerales y rocas



Fuente: Meza, J. (2018)

La información previa requerida para realizar con éxito el proceso de beneficio comprende:

a) Información Composicional

Es necesario saber a qué minerales está asociado el elemento que finalmente se va a beneficiar.

Hay una variedad de menas en las que, debido a procesos de oxidación posterior, sus minerales no responden al proceso de flotación, ocasionando grandes pérdidas.

Constituye una información valiosa el tipo de exfoliación de los minerales ya que ello tiene gran importancia en la producción de finos y molienda.

También se debe tener en cuenta la comercialización de concentrados y por lo tanto el mineralogista está obligado a reportar cualquier mineral que genere penalidades en la venta de los concentrados.

b) Información textural

En todos los estudios aplicados a los procesos de flotación trabajan con la mena reducida a partículas; por eso se detalla las características geométricas de las partículas:

Rasgos texturales internos de una partícula mineral Partículas Homogéneas

Mineralógicamente, es raro encontrar partículas homogéneas. En gran parte de los casos se va a tener minerales acompañados por la cristalización de fases minoritarias, que resultan en la formación de inclusiones, encapsulamientos, etc.

- **Partículas Heterogéneas.** - Son aquellas que contienen inclusiones, las no homogeneidades en una partícula mineral pueden ser:
- **Tipo físico. -** Corresponden principalmente las imperfecciones en la estructura cristalina y porosidad (las maclas).
- **Tipo Químico. -** Se manifiestan en forma ordenada como zonamientos o bandeamiento y en forma muy irregular dentro de la partícula mineral.

Las imperfecciones físicas o químicas de los minerales afectan tanto la molienda como la flotación de las partículas sometidas a los procesos de flotación.

Tabla 1. Inclusiones frecuentes control mineralógico de procesos metalúrgicos

Mineral albergante	Mineral como inclusión
Bornita	Cobre gris
Calcopirita	Bornita, cubanita, millerita, pirrotita, esperrilita, moncheita
Calcosina	Bornita, estromeyerita
Cobre gris	Calcopirita
Cromita	Hematita, Ilmenita
Cuprita	Cobre nativo
Enargita	Calcopirita
Esfalerita	Calcopirita, pirrotita, estannita
Estannita	Esfalerita, cubanita, calcopirita
Galena	Argentita, bournonita, freibergita, pirargirita
Pirita	Oro
Pirrotita	Vallenita, pentlandita
Cromita	Platino, espermilita

Fuente: Elaboración propia

Rasgos texturales externos de una partícula mineral

Los rasgos texturales externos de una partícula mineral, abarcan los siguientes tres aspectos fundamentales:

Forma del grano

Por diferentes variables en el proceso de cristalización, los granos minerales pueden o no conservar la forma plana de las caras correspondientes a un cristal individuo. El caso más general está representado por agregados de las formas más diversas. La presencia de granos limitados por contornos muy complicados, son de especial importancia en la caracterización ya que generalmente constituye la causa de bajo grados de liberación de la mena.

Tamaño del grano

Para una mena finamente granular de galena una partícula puede estar compuesta de varios granos pequeños, sin embargo, se podría considerar como una partícula.

Intercrecimientos

Los minerales se presentan en una amplia gama de arreglos geométricos (Intercrecimientos), que son particulares para cada tipo de yacimiento. Desde el punto de vista de la molienda podemos clasificar los Intercrecimientos en forma global como:

- ***Intercrecimientos simples.*** **-** Están representados por arreglos de minerales cuyos contactos a nivel de una partícula son rectos o ligeramente curvados.
- ***Intercrecimientos complejos.*** **-** Son todos aquellos arreglos con contactos mixtos muy caprichosos o inclusiones muy finas de difícil liberación y dan como resultados gran producción de mixtos en los concentrados o una excesiva producción de finos.

Para los efectos de cuantificación es necesario agrupar los intercrecimientos de una mena en tipos. Una de ellas es la tabla de G. C. Amstutz, publicada por el American Geological Instituto (1954-1960), en la cual se señalan 9 tipos básicos de intercrecimientos.

Sin embargo, es conveniente confeccionar un pequeño atlas de intercrecimientos de la mena que se está tratando, el cual debe ser hecho a medida que se va realizando las investigaciones sistemáticas previas a los estudios de control mineralógico.

Esta documentación gráfica permitirá al metalurgista conocer en forma objetiva el mineral que va a tratar y las limitaciones texturales para la liberación de partículas.

Tabla 2. Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales

Fuente: Amstutz, 1962.

La mineralogía está fuertemente ligada al proceso productivo, dado que es la que determina el comportamiento de la roca durante el proceso. Un acabado conocimiento de la mineralogía, sumado a otros estudios, llevará a planificar la planta de manera óptima para el tratamiento de los minerales encontrados en el yacimiento.

El creciente interés en la relación entre la mineralogía y el proceso productivo llevo al desarrollo de técnicas más automatizadas para cuantificar la mineralogía de las muestras (Baum et al, 2004).

Baum (2004), reconoce 2 problemas claves:

1. Las muestras deben ser representativas.
2. No basta conocer los valores metálicos. Son el contenido mineral, tamaño y texturas los que determinarán el comportamiento de la separación mineral. Dice también, que el segundo problema ya está solucionado producto del desarrollo tecnológico en la medición mineral cuantitativa en la década del 90, teniendo como representantes el QEMSCAN y el MLA, ambos desarrollados en Australia. Un denominador común es la presencia de filosilicatos como responsables de causar problemas en la flotación de los minerales de mena. Además, los filosilicatos son muy comunes ya que son el producto más habitual de la meteorización, la alteración hidrotermal y depositación sedimentaria. Debido a que se presentan mayoritariamente en un tamaño de grano muy fino, es muy difícil sacarlos del sistema y entran en el circuito de producción (Ndlovu et al, 2013). Las diferencias de carga entre las diferentes caras de los filosilicatos, producen interacciones borde-borde, cara-borde, cara-cara donde cada tipo de interacción tiene diferentes comportamientos (Ndlovu et al, 2013). Las asociaciones cara-borde y borde-borde son las que generan mayor problemática

en el procesamiento de minerales ya que forman estructuras tridimensionales que aumentan el comportamiento coloidal (Tombácz and Szekeres, 2006; Gupta et al., 2011). Uno de los efectos de los filosilicatos que causa mayor interés es en el rendimiento de la flotación de minerales. Su gran área superficial los hace particularmente reactivos y susceptibles a cambios. Forman slime coatings alrededor de las burbujas de aire y de los otros minerales producto de fuerzas electroestáticas de atracción entre ellos (Ndlovu et al, 2013). El impacto negativo de lo anterior se ve en la disminución de la recuperación de los minerales de mena.

- **Descripción microscópica de gangas**

Las plagioclasas representan un 60-65% de abundancia con tamaños inferiores a 1.6 mm, presentan hábitos tabulares maclados y zonados, están intercrecidos con feldespato potásico, minerales de traza de cuarzo, además están débilmente reemplazadas por sericita y carbonatos.

En un 8-10% de abundancia están los feldespatos potásicos en forma de cristales subhedrales de hábitos tabulares maclados (macla enrejada) y formas irregulares. Esta intercrecida con plagioclasas, el tamaño de granos está por debajo de las 800 µm. Cuarzo esporádico e incipiente por debajo del 2%.

Los ferromagnesianos (anfíboles, micas) se observan como cristales subhedrales de hábitos prismáticos y con bordes corroídos, esta intercrecida con plagioclasas, además es reemplazada por carbonatos, presenta tamaños por debajo de las 700 µm.

Se observa presencia de moscovita-sericita en trazas (por debajo del 0.5% en volumen), ocurre como agregados criptocristalinos que reemplazan débilmente a las plagioclasas.

El carbonato se exhibe como cristales anhedrales a subhedrales de hábitos rómbicos y formas irregulares, están reemplazando de forma débil a plagioclasas y rellena fracturas que cortan a la roca.

- **Descripción microscópica de menas**

  La bornita se presenta como mena principal, seguido de calcopirita, la primera se aprecia como cristales anhedrales de formas irregulares que reemplaza a la calcopirita y rellena algunas oquedades de plagioclasas, la calcopirita está presente de forma irregular y bordes subredondeados, esta rellenando oquedades en plagioclasas y está asociado a carbonatos en vetillas.

- **Estudio en difracción de rayos X (DRX)**

  En el presente análisis mineralógico semi cuantitativo por difracción de rayos X (DRX) se ha llegado a determinar los minerales presentes (fases cristalinas) con un límite de detección (L.D.) superior al 1.00 %, en el caso que se tenga muestras por encima del 20% de minerales con alto contenido de hierro su límite de detección es de 2%. Los minerales de cobre inferiores al 1%han sido inferidos en función al porcentaje del CuSAC y CuSCN, además que el porcentaje de arcillas que se menciona en el presente deben ser tomadas de manera referencial debido a su característica de tener espacio interplanar muy pequeño lo que imposibilita su identificación exacta en el difractograma, para este caso es necesario trabajar con un tratamiento con líquidos orgánicos.

2.3. Definición de Términos Básicos

a) Análisis mineralógico: Es una técnica dedicada a la identificación de los minerales, al conocimiento detallado de sus propiedades físicas y químicas, cuya asistencia es primordial en el desarrollo del proyecto minero.

b) **Análisis Mineralógico en la Metalurgia Extractiva:** Aunque las aplicaciones son múltiples y variadas, estas pueden ser resumidas en dos:

- Investigación mineralógica de menas
- Estudio de los productos provenientes del tratamiento de minerales.

c) **Microscopía Óptica:** Realiza la identificación basada esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible.

d) **Microscopía Electrónica de Barrido:** Se basa en la utilización del nivel de brillo de una imagen electrónica, generada por los rayos X que emiten los minerales sobre el campo de observación.

e) **Microscopia de luz reflejada (opacos):** Aplicada a la flotación. La aplicación en flotación está dedicada a minerales que, por su comportamiento a la luz, se les puede calificar como minerales opacos y muchos de ellos caen dentro del grupo de sulfuros y sulfosales.

f) **Información Composicional:** Es necesario saber a qué minerales está asociado el elemento que finalmente se va a beneficiar.

g) **Información textural:** En todos los estudios aplicados a los procesos de flotación trabajan con la mena reducida a partículas, es por eso que se detalla las características geométricas de las partículas.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- Diagnosticar la caracterización mineralógica de la calcopirita influirá directamente en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada influirá directamente en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.
- Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre influirá directamente en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.

2.5. Identificación de Variables

Variable independiente

Caracterización mineralógica de la calcopirita.

Variables dependientes

Producción de concentrado de cobre.

Variables intervinientes

- Contenido metálico
- Granulometría
- Grado de liberación
- Insolubles
- Calidad de concentrado
- equipos

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores

Dependiente: Producción de concentrados de cobre	Resultado de enriquecer el contenido de cobre a través del proceso de flotación de sulfuros	Proceso por el cual una mena extraído de la mina es concentrado para obtener elementos con mayores leyes químicas en su composición	• Volumen de concentrados	TM
			• Elementos valiosos existentes en el concentrado	%
Independiente: Caracterización mineralógica de la calcopirita	Diagnóstico realizado a los minerales extraídos de la mina, para determinar sus elementos, asociaciones y reacciones a su procesamiento	Diversas etapas de preparación para reconocer al microscopio las asociaciones minerales existentes	• Análisis químico	% de cada elemento
			• Análisis macroscópico del mineral •	Composición mineralógica
			• Análisis microscópico del mineral	Asociaciones mineralógicas

CAPÍTULO III

METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

"El tipo de investigación del presente estudio es Explicativo. "La investigación experimental se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa - efecto, para lo cual un grupo, llamado experimental, se expone a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de otro grupo, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estimulo experimental" (Hernández, Fernández y Baptista – 2003).

3.2. Métodos de Investigación

En el presente trabajo de investigación el método utilizado es el **Científico**, porque se está aplicando los conocimientos existentes en la solución de problemas.

3.3. Diseño de Investigación

"Diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. Para fines didácticos se clasifican en diseño experimental, diseño no experimental y diseño bibliográfico". (Filiberto Martins – 2010). En la presente investigación es experimental.

3.4. Población y Muestra

Población

Según (Tamayo – 1997) "la población se define conjunto de todas las cosas que concuerdan con una serie determinada de especificaciones a estudiar donde las unidades de la población poseen características comunes la cual se estudia y da origen a los datos de investigación".

La población está representada por el mineral que se extrae de los 7 frentes o niveles en actividad, con contenidos de calcopirita.

Muestra

Para determinar la muestra representativa se procedió a realizar el muestreo aleatorio simple, donde cada muestra tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de n/N y que representa a un día de producción; cabe recalcar que los trabajos de explotación minera se realiza por campañas de van de 30 a 45 días, con una producción mínima de 10 toneladas/día de mineral extraído y luego después de acopiar en cancha de almacenamiento 300 a más toneladas son trasladados a la planta concentradora San Martín - Huari. Para calcular el número de muestras a obtener se procedió a calcular con los siguientes valores:

n = Tamaño de la muestra = ?

z = Nivel de confianza (95%) = 1,96

p = Proporción (50%) = 50

q = Proporción (50%) = 50

N = Tamaño de la población = 40

e = Error máximo permitido (3%) = 3

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N-1) + z^2\, p * q} \quad (1)$$

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 50 * 50 * 40}{3^2(40-1) + (1.96)^2 * 50 * 50} = 38.5$$

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

Fase I: Identificación de las características físicas de las muestras representativas del mineral y son:

- Calculo del peso específico.
- Dureza del mineral.
- Molienda
- Análisis de mallas.
- Caracterización de la liberación mineral.
- Análisis cuantitativo.
- Evaluación microscópica del mineral.

Fase II: Pruebas de flotación exploratoria y para ello se seleccionó:

- Selección de colectores, espumantes, modificadores.
- Tiempo de acondicionamiento

- Tiempo de flotación rougher, scavenger y cleaner.
- Estudio microscópico de concentrado y relave.
- Asociaciones minerales.
- Irregularidades del borde del grano.
- Tipo de intercrecimiento mineral.

Fase III: Optimización de la flotación.

Para el acopio de información se desarrolló las siguientes técnicas e instrumentos siguientes:

N°	Actividad	Técnica	Instrumentos
1	Recolección de muestra	Cono y cuarteado	- Palas, envases
2	Cálculo del peso específico	Método del picnómetro	- Picnómetro - Balanza
3	Cálculo de la dureza del mineral	Reconocimiento experimental	- Escala de campo
4	Liberación del mineral	Molienda	- Molino de bolas - Balanza - Baldes
5	Reconocimiento mineralógico	Análisis microscópico	- Microscopio de opacos - Briquetas
6	Análisis cuantitativo	Análisis químico	- Equipo de absorción atómica
7	Concentración de cobre	Flotación diferencial	- Celda de flotación - Reactivos diversos - Cronómetro

			- Accesorios a la flotación
8	Reconocimiento microscópico de asociaciones minerales, irregularidades del grano e intercrecimiento	Análisis microscópico	- Microscopio de opacos - Briquetas

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

a) Recolección de muestra

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo bajo el sistema de cono y cuarteado.

b) Cálculo del peso específico del mineral

Para determinar el peso específico promedio de la muestra representativa se empleó la siguiente ecuación:

$$G = \frac{M - P}{W + (M - P) - S} \qquad (2)$$

Donde:

M – P = Peso de muestra

W = Picnómetro + agua contenida

S = Muestra + picnómetro + agua no desplazada

W + (M – P) – S = Peso del agua desplazada por la muestra.

1) Método del Picnómetro

$$Ge. = \frac{P1}{(P3 - P2) - (P4 - P5)}$$

Donde:

P1: Peso del mineral

P2: Peso del picnómetro

P3: Peso del picnómetro + Peso del agua

P4: Peso del picnómetro + Peso del mineral + Peso del agua

P5: Peso del picnómetro + Peso del mineral

2) Método de la fiola

$$Ge. = \frac{P1}{(P3 - P2) - (P4 - P5)}$$

Donde:

P1: Peso del mineral

P2: Peso de la fiola

P3: Peso de la fiola + Peso del agua

P4: Peso de la fiola + Peso del mineral + Peso del agua

P5: Peso de la fiola + Peso del mineral

c) Cálculo de la dureza del mineral

Utilizando la escala de campo, se determinó experimentalmente la dureza del mineral.

d) Liberación del mineral

Para determinar el grado de liberación del mineral se procedió a moler por 20 minutos la muestra representativa, obteniéndose una muestra representativa que debe luego ser tamizado.

e) Análisis cuantitativo

Para llevar a cabo el análisis químico, se seleccionó los elementos más representativos y son cobre, plomo, zinc, hierro, sílice y plata de cinco

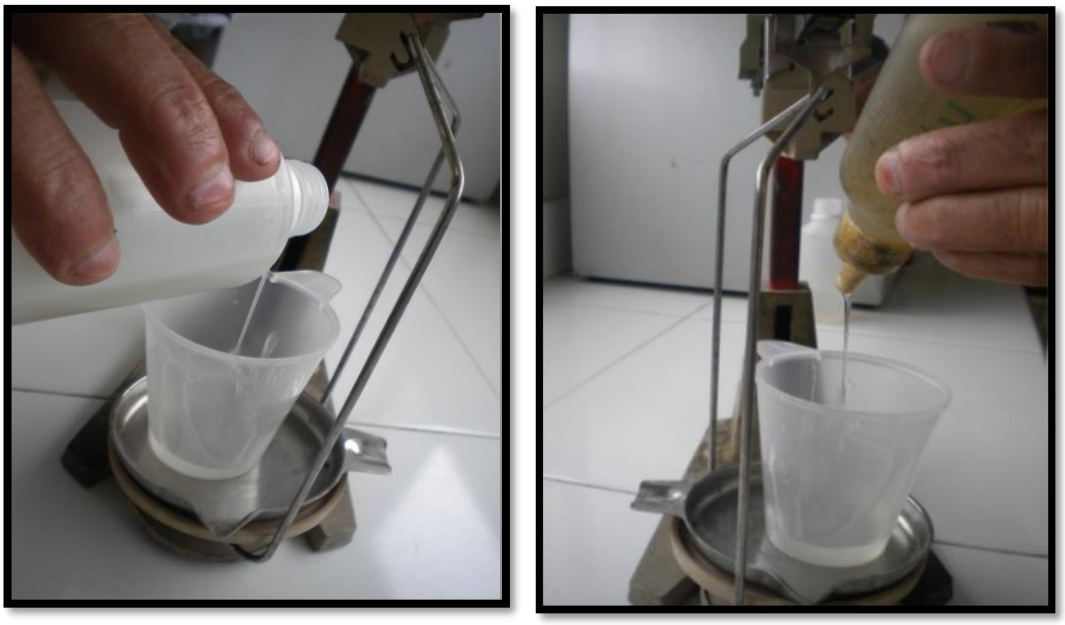
muestras representativas del mineral compósito, por vía clásica, encargado a terceros.

f) Reconocimiento mineralógico

PREPARACIÓN DE BRIQUETAS

- ✓ Se realizó el pesaje y secado de las muestras aproximadamente 10 g de muestra (cabeza, concentrado y relave).

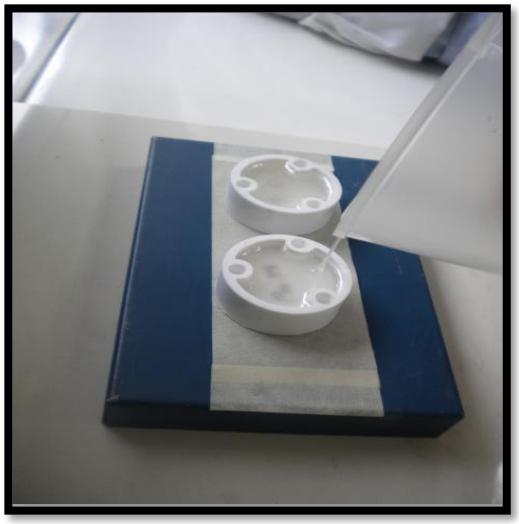
Foto 1. Pesaje de resina



Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se pesó 14 g de resina epóxica, 2 g de endurecedor por muestra.
- ✓ La muestra es encapsulada dentro de un molde de **30 mm** de diámetro estandarizado universalmente para el tamaño de una briqueta; y que facilitó su manipulación para mejor protección de la muestra.

Foto 2. Vaciado y secado de muestra



Fuente: Elaboración propia

El encapsulado de la muestra debe hacerse usando la resina en frio para evitar la alteración del componente de la muestra ya que estas mezclas de resina más endurecedor producen reacciones exotérmicas.

- ✓ **Lapeado o Desgastado**

La muestra se desgastó con lijas de carburo de silicio sobre un vidrio teniendo como lubricante el agua en el siguiente orden:

Tabla 3. Desgaste de las briquetas con abrasivos

Abrasivo (SiC) Malla (micras)	**Cantidad (g)**	**Tiempo (min)**	**Lado**
200	15	10	Cara - reverso
400	10	10	Cara
600	7	5	Cara - reverso
1000	3	5	Cara

Fuente: Elaboración propia

Foto 3. Ilustración de las etapas del lapeado

Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Pulido preliminar, intermedio y fino**

  La primera etapa. Se realizó con un paño de jeans con la mezcla de la alúmina y agua en una proporción de 1 a 1 por un periodo de tiempo de 3-5 min.

  La segunda etapa se realizó haciendo uso de la pulidora semiautomática Labopol-6 Struer con sus paños respectivos, lubricante de aceite orgánico y en medio con los granos de suspensión de diamantes.

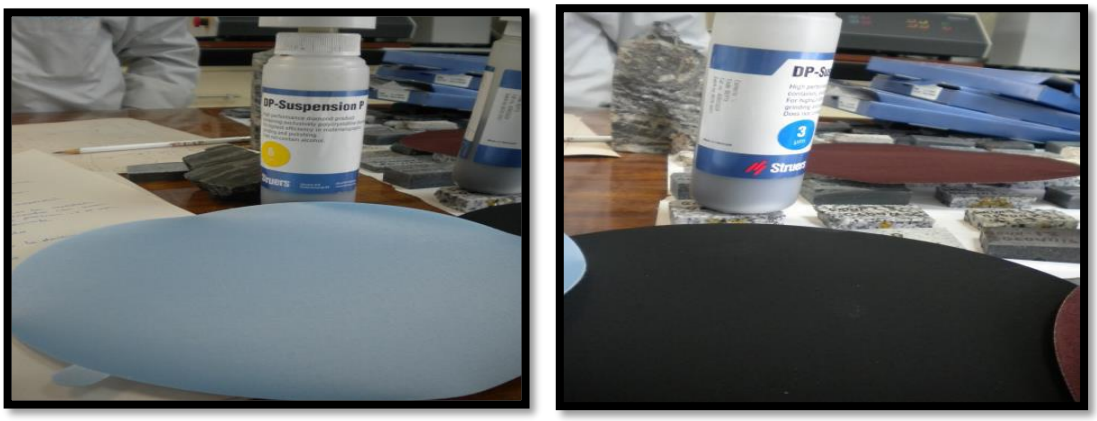
  Los paños que se utilizó en la etapa de pulido fueron los adecuados: como los autoadhesivos o magnéticos con pelo, con baja elasticidad y buena propiedad de retención de la suspensión de diamante, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 4. Etapas del Pulido de las briquetas

Suspensión de diamantes (micrones)	Tiempo (min)	Velocidad (RPM)	Presión (Newton)
6 a 10	3 a 8	400 - 600	30 a 40
3 a 6	3 a 4	300	20
1 a 1.4	1	100 - 150	10

Fuente: Elaboración propia.

Foto 4. Tipos de paños para el pulido



Fuente: Elaboración propia

Después del lapeado y pulido toda briqueta debe cumplir con las siguientes características:

- ✓ La briqueta no debe presentar micro porosidad.
- ✓ La briqueta no debe presentar rayaduras.
- ✓ La briqueta debe tener una superficie totalmente plana por ambos lados.

Se pretende obtener información acerca de la mineralogía, génesis, grado de liberación, conteo de granos y la composición de la muestra; haciendo uso de las propiedades ópticas como color, hábito, pleocroísmo, maclas, reflectividad que poseen los minerales al ser incididos por la luz polarizada.

PREPARACIÓN DE PLAQUETAS

- ✓ Solo se necesitó de **3 a 5 g** de muestra de material pulverizado (cabeza, concentrado y relave a malla +200 y - 200 respectivamente).

Utilizando esmalte sintético, se llevó a cabo el pegado de las muestras en los portaobjetos, con índice de refracción **1,53** (respecto al aire) y tratando de pulverizar en forma uniforme con un alambre y calentado por un corto tiempo.

- ✓ **Desbaste**

Mediante el desbaste se consiguió poner al descubierto la superficie del mineral, reduciendo el espesor, eliminando todo lo que pudiera obstaculizar sus características naturales, a la vez que se obtiene una superficie plana con pequeña rugosidad, y se realiza sobre un vidrio triple con la acción de un aglutinante (agua); hasta alcanzar un espesor ideal de 30 micras.

Tabla 5. Etapas de lapeado para cada plaqueta

Abrasivo (SiC) Malla (micras)	Cantidad (g)	Tiempo (min)	Lado	Espesor (micras)
400	5	7	Cara	100
600	10	10	Cara	40
1000	7	5	Cara	30

Fuente: Elaboración propia

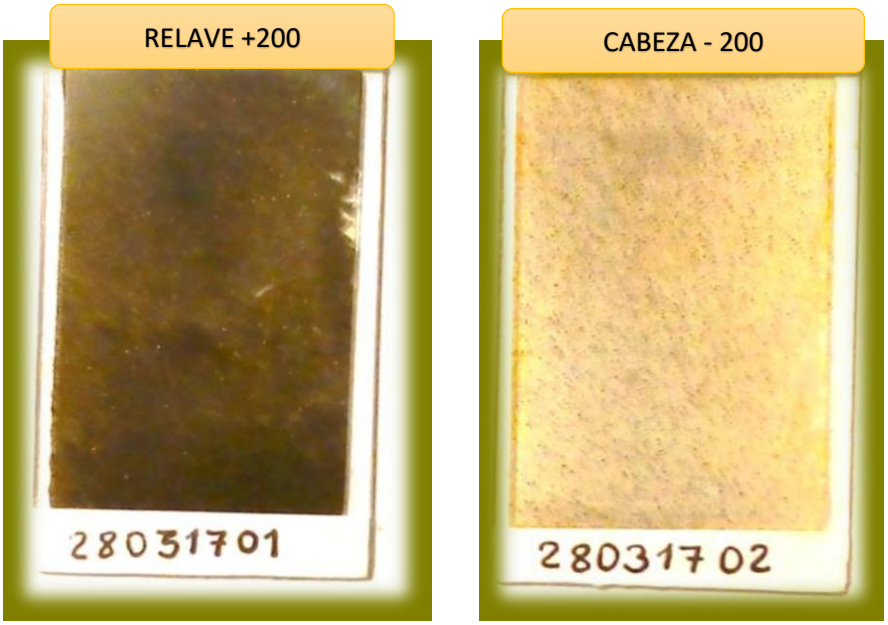
- ✓ **Montaje del cubre objeto**

  Una vez que la plaqueta tiene el espesor de 30 micras, se coloca la lámina de cubierta o cubre objeto sobre la gota de resina y endurecedor, presionando cuidadosamente el vidrio de cubierta con una pinza para expulsar las burbujas de aire atrapadas y el excedente del esmalte. Para sujetarse se llevó a la plancha a 40°C, por recomendación técnica de los expertos.

- ✓ **Rotulado y codificación**

  La limpieza de las plaquetas se realiza mediante la aplicación alcohol, como disolvente.

Foto 5. Plaquetas codificadas

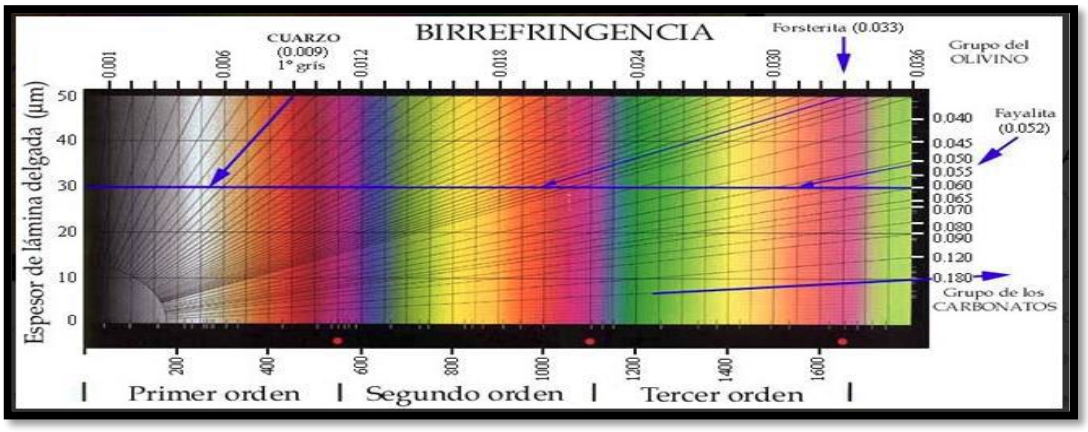


Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Control de calidad de las plaquetas**

  El espesor de las plaquetas debe corresponder al estudio a realizar. Tomando como referencia la coloración del cuarzo, plagioclasas, etcétera a fin de alcanzar las 30 µm de espesor para láminas delgadas, este control se basa a la Tabla de colores de interferencia de Michel Levy.

Tabla 6. Tabla de colores de interferencia de Michel Levy



Fuente: INGEMMET (2017). Dirección de Laboratorios - Área de Petrotomía

- **Flotación de calcopirita**

Reactivos

- ✓ Xantato amílico de potásio (Z-6): 20 g/TM
- ✓ Espumante MIBC: 30 g/TM
- ✓ Promotor 1242: 16 g/TM
- ✓ CaO: 2 kg/TM
- ✓ NaCN: 25 g/TM

✓ **Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó para el análisis de resultados de las pruebas experimentales fue el diseño factorial 2^3.

Cada nivel teniendo como variables y niveles a los siguientes valores.

Tabla 7. Niveles y valores de los factores

Factores	Niveles
A: Tiempo de flotación (minutos)	15 18 21
B: Dosificación del colector (Z6)	20 40 60

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos seguidos fueron:

Tabla 8. Diseño factorial

N° de réplicas		Tiempo de flotación (minutos)		
		15	18	21
Dosificación del colector (g/TM)	20	X_1Y_1	X_1Y_2	X_1Y_3
	40	X_2Y_1	X_2Y_2	X_2Y_3
	60	X_3Y_1	X_3Y_2	X_3Y_3

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Tratamiento Estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se desarrolló con la asistencia del software SPSS 22.

3.8. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

- ✓ **Selección de instrumentos de investigación**

  La selección de los instrumentos de investigación se realizó desarrollando los procesos convencionales para cada etapa y con las técnicas aprendidas en los claustros universitarios.

- ✓ **Validación**

  La validación de la investigación, estarán dadas por el análisis químico y la caracterización del mineral correcta que se otorga a cada muestra a experimentar.

- ✓ **Confiabilidad.**

  La confiabilidad de los resultados, se basa en la experiencia del personal del laboratorio químico al cual se confió los ensayos y a la correcta toma de

muestras, realizadas con el mayor cuidado posible por todos los que realizamos este trabajo.

3.9. Orientación Etica

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la voluntariedad), los procedimientos justos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta la revisión científica previa y las leyes aplicables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

Los trabajos de campo realizados se aboco a la toma de muestras diariamente y luego después de sucesivas etapas de reducción de la muestra a través del método de cono y cuarteado, se fue obteniendo la muestra representativa que permitió, realizar el análisis químico y desarrollar las pruebas de microscopia y flotación respectivamente.

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

- ✓ **Recolección de muestra**

  Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo una muestra de 5 kilos por día de extracción de mina, bajo el sistema de cono y cuarteado; en forma similar se realizó para obtener la muestra compósito de toda la

campaña, obteniéndose 150 kilos con los cuales se realizó las pruebas experimentales siguientes.

- ✓ **Cálculo del peso específico del mineral**

Utilizando el método del picnómetro, se determinó el peso específico del mineral, de diez muestras y se procedió a obtener el promedio representativo.

Tabla 9. Peso específico medio del mineral

Muestra	Peso específico (g/cm^3)
1	4,12
2	4,35
3	4,42
4	4,23
5	4,30
6	4,18
7	4,27
8	4,35
9	3,90
10	3,85
Sumatoria	41,97
Promedio	4,197

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Cálculo de la dureza del mineral**

  Utilizando la escala de campo, el mineral logró rayarse con un clavo de acero que otorga una dureza de 4,5.

- ✓ **Liberación del mineral por tres tiempos**

  - Para determinar el grado de liberación del mineral se procedió a moler por **20 minutos** la muestra representativa, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 10. Análisis de mallas

Malla Tyler	Abertura (mm)	Mineral Retenido (g)	Retenido acumulado (g)	% Mineral Retenido	% Mineral que pasa
4	4,76	0	0	0	99.26
6	3,36	1,5	1,5	1,49	98
10	1,68	2	3,5	1,99	96
20	0,841	4,5	8	4,98	91
28	0,595	6	14	5,97	85
35	0,420	13	27	12,94	72
48	0,297	11	38	10,95	61
65	0,210	10	48	9,95	51
100	0,149	15	63	14,93	36
200	0,074	22	85	21,89	14
-200		15	100.0	14,00	0
TOTAL		100.00			

Fuente: Elaboración propia.

- Liberación del mineral **15 minutos**.

Tabla 11. Análisis de mallas

Malla Tyler	Abertura (mm)	Mineral Retenido (g)	Retenido acumulado (g)	% Mineral Retenido	% Mineral que pasa
4	4,76	0	0	0	97.56
6	3,36	1,8	1,8	1,46	96,1
10	1,68	2.3	4,1	1,09	95,01
20	0,841	4	8,1	4,85	90,16
28	0,595	6,4	14,5	5,83	84,33
35	0,420	11	25,5	12,98	71,35
48	0,297	17	42,5	10,93	60.42
65	0,210	20	62,5	19,52	40.9
100	0,149	15	77,5	12,03	28.87
200	0,074	11,5	89	10,89	17.98
-200		11.0	100.0	17,9	0
TOTAL		100.00			

Fuente: Elaboración propia.

- Liberación del mineral **10 minutos**.

Tabla 12. Análisis de mallas

Malla Tyler	**Abertura (mm)**	**Mineral Retenido (g)**	**Retenido acumulado (g)**	**% Mineral Retenido**	**% Mineral que pasa**
4	4,76	0	0	0	98.96
6	3,36	2,01	2,01	1,56	97.4
10	1,68	3,4	5,41	1,95	95
20	0,841	5,5	10,91	5,25	89.75
28	0,595	17.56	28,47	6,76	82.99
35	0,420	15,42	43,89	11,93	71
48	0,297	13,56	57,45	12,95	58.05
65	0,210	10.3	67,75	14,95	43,1
100	0,149	14	81,75	14,83	28.27
200	0,074	12	93.75	15,34	12.93
-200		6.25	100.0	12,9	0
TOTAL		100.00			

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Análisis cuantitativo**

  Para llevar a cabo el análisis por elementos del mineral compósito se procedió a evaluar cinco muestras representativas con el siguiente resultado:

Tabla 11. Análisis químico promedio

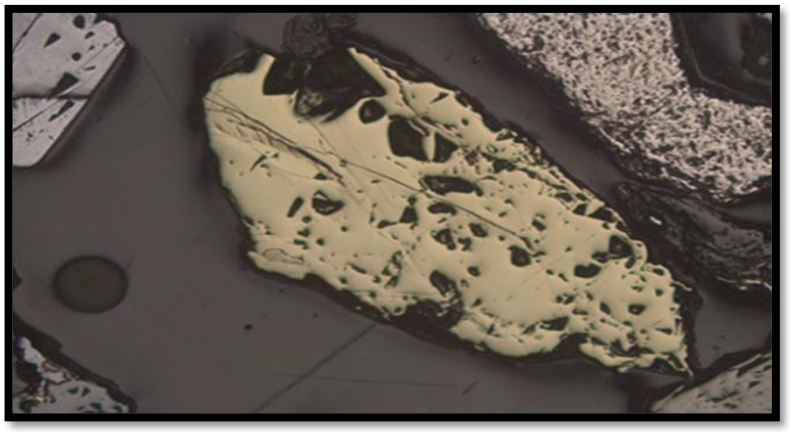
Muestra	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	% SiO2	Ag (g/TM)
1	7,42	0,1	0,05	12.8	21	62
2	6,5	0,18	0,08	13,4	18,5	118
3	4,3	0	0,1	15,6	23,5	96
4	6,8	0,1	0,02	11,8	26,5	74
5	5,2	0,2	0,03	10,5	24,2	65
SUMATORIA	30,22	0,58	0,28	64,1	113,7	415
PROMEDIO	**6,044**	**0,116**	**0,056**	**12,82**	**22,74**	**83**

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Reconocimiento microscópico**

  - Identificación de las muestras de cabeza.

Foto 6. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla -200

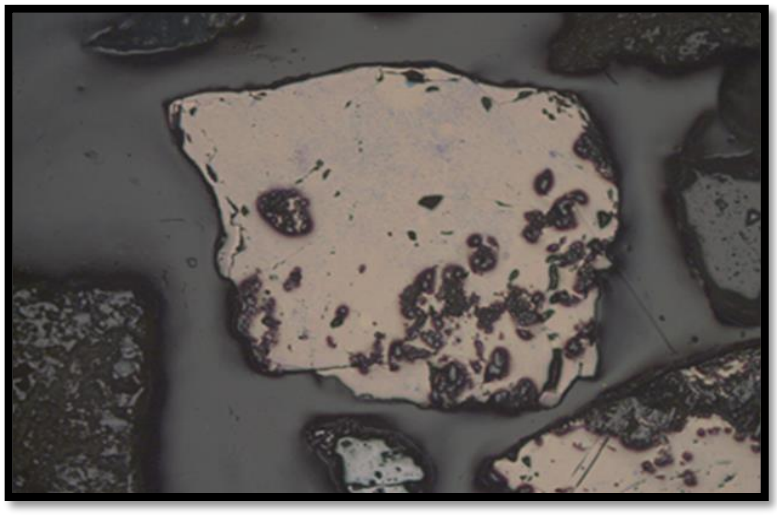


Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 500 µm, se puede observar claramente la calcopirita libre de color amarillo con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Calcopirita ($CuFeS_2$)
- ✓ Sistema cristalino: Tetragonal
- ✓ Color: Amarillo metálico
- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 3 mm
- ✓ Pleocroísmo: Ocasionalmente observable.
- ✓ Dureza: 3,5 – 4.

Foto 7. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla -200



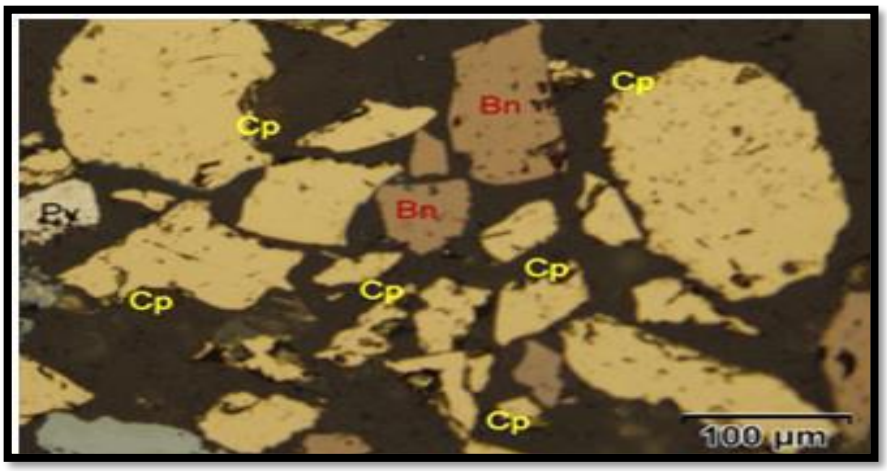
Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM.

Comentario: En la foto a 500 µm, se puede observar claramente la bornita libre de color rosado con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Bornita (Cu2FeS4)
- ✓ Sistema cristalino: Tetragonal
- ✓ Color: Rosado
- ✓ Morfología: Anhedral

- ✓ Tamaño: 2,5 mm
- ✓ Pleocroismo: Visible en los bordes del grano.
- ✓ Dureza: 3
- ✓ Identificación de las muestras de concentrado

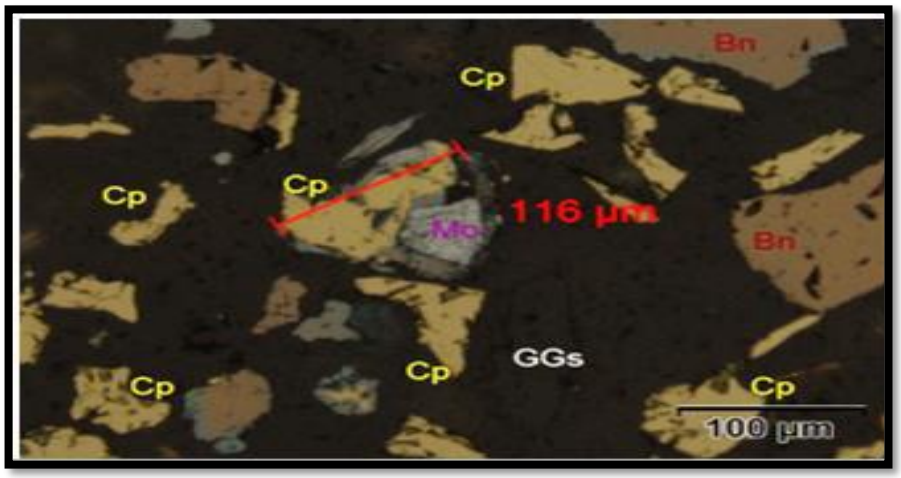
Foto 8. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla -200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 µm, se puede observar claramente la calcopirita, bornita y pirita que van de 3 mm a 0,5 mm Con colores bien diferenciados.

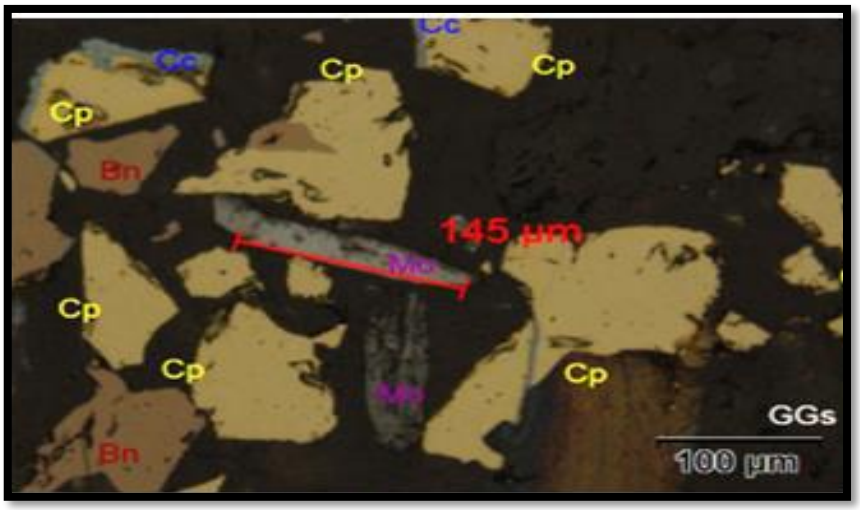
Foto 9. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla +200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 µm, se puede observar claramente la calcopirita libre, bornita libre, gangas y una asociación de calcopirita – molibdenita de 116 µm.

Foto 10. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla +200

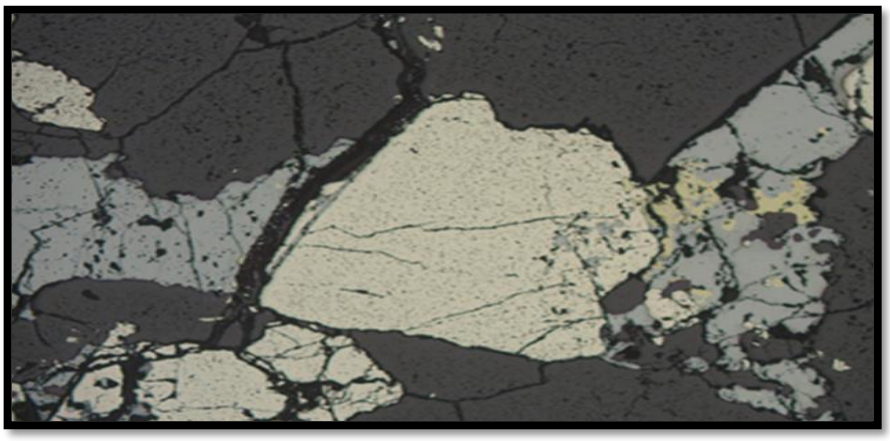


Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 µm, se puede observar claramente la calcopirita y bornita libres que van de 3 mm a 0,1 mm distinguiéndose claramente por la diferencia de colores.

- Identificación de las muestras de relave

Foto 11. Identificación microscópica de la muestra de relave a malla 200

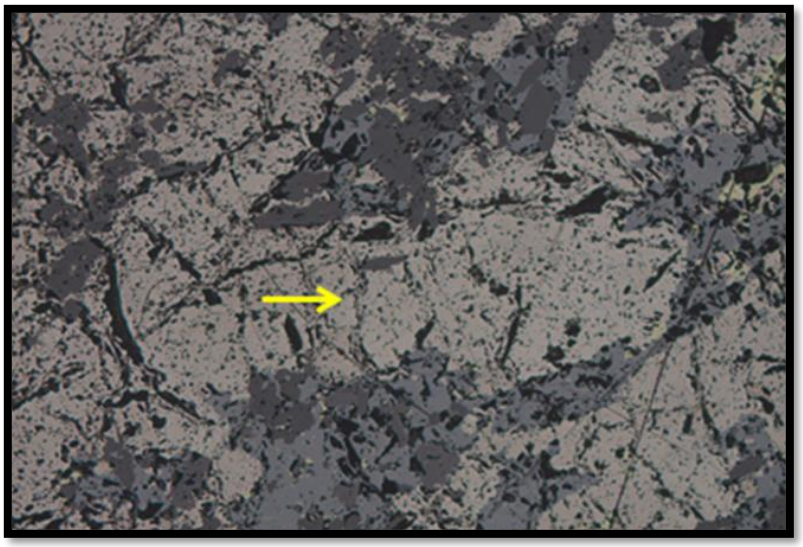


Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 500 µm, se puede observar claramente la pirita asociado a silicatos de color amarillo claro con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Pirita (FeS2)
- ✓ Sistema cristalino: Cúbico
- ✓ Color: Amarillo claro
- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 1,5 mm
- ✓ Pleocroísmo: no presenta.
- ✓ Dureza: 6

Foto 12. Identificación microscópica de la muestra de relave a malla 200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 500 µm, se puede observar claramente la pirrotita de color marrón rosado con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Pirrotita (Fe1-xS)
- ✓ Sistema cristalino: Monoclínico hexagonal
- ✓ Color: Marrón rosado

- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 6,5 mm
- ✓ Pleocroísmo: marrón rosado en los bordes del grano.
- ✓ Dureza: 3

Flotación de la Calcopirita

En base al diseño experimental se desarrolló las pruebas de flotación con el siguiente resultado:

Pruebas de flotación 1

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	7.42	0.40	22	120	100.00	100.00
Conc. Cu	94	22.50	6.15	21	579	95.19	96.24
Relave	206	0.52	0.11	1	23	4.81	3.76
Total	300	7.42	2.01	22	602	100.00	100.00
RC Cu	3.2						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 2

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	6.50	0.40	20	120	100.00	100.00
Conc. Cu	78	23.53	6.15	18	482	94.66	95.19
Relave	222	0.47	0.11	1	24	5.34	4.81
Total	300	6.50	1.69	20	507	100.00	100.00
RC Cu	3.8						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 3

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	4.30	0.40	13	120	100.00	100.00
Conc. Cu	53	22.62	6.15	12	327	93.30	92.34
Relave	247	0.35	0.11	1	27	6.70	7.66
Total	300	4.30	1.18	13	354	100.00	100.00
RC Cu	5.6						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 4

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	6.80	0.40	20	120	100.00	100.00
Conc. Cu	80	24.65	6.15	20	493	96.77	95.32
Relave	220	0.30	0.11	1	24	3.23	4.68
Total	300	6.80	1.72	20	517	100.00	100.00
RC Cu	3.7						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 5

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	5.20	0.40	16	120	100.00	100.00
Conc. Cu	60	24.80	6.15	15	370	95.70	93.35
Relave	240	0.28	0.11	1	26	4.30	6.65
Total	300	5.20	1.32	16	397	100.00	100.00
RC Cu	5.0						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 6

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	6.04	0.40	18	120	100.00	100.00
Conc. Cu	71	24.53	6.15	17	435	95.70	94.52
Relave	229	0.34	0.11	1	25	4.30	5.48
Total	300	6.04	1.53	18	460	100.00	100.00
RC Cu	4.2						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 7

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	6.50	0.40	20	120	100.00	100.00
Conc. Cu	73	25.20	6.15	18	449	94.41	94.74
Relave	227	0.48	0.11	1	25	5.59	5.26
Total	300	6.50	1.58	20	474	100.00	100.00
RC Cu	4.1						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 8

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	6.80	0.40	20	120	100.00	100.00
Conc. Cu	78	24.80	6.15	19	479	94.66	95.15
Relave	222	0.49	0.11	1	24	5.34	4.85
Total	300	6.80	1.68	20	503	100.00	100.00
RC Cu	3.9						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 9

Productos	Peso	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	TMS	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
Cabeza	300	6.04	0.40	18	120	100.00	100.00
Conc. Cu	72	23.80	6.15	17	442	94.33	94.62
Relave	228	0.45	0.11	1	25	5.67	5.38
Total	300	6.04	1.56	18	467	100.00	100.00
RC Cu	4.2						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Consolidado de las pruebas de flotación

Pruebas de flotación	Ley de cabeza (%Cu)	Concentrado (%Cu)	Ratio de concentración	Concentrado de Cu - TM
1	7.42	22.50	3.2	94
2	6.5	23.53	3.8	78
3	4.3	22.62	5.6	53
4	6.8	24.65	3.7	80
5	5.2	24.80	5	60
6	6.4	24.53	4.2	71
7	6.5	25.20	4.1	73
8	6.8	24.80	3.9	78
9	6.04	23.80	4.2	72
Sumatoria	55.96	216.43	37.7	659
Promedio	**6.22**	**24.05**	**4.19**	**73.22**

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: Se desarrollaron 9 pruebas de flotación en base al diseño experimental y como resultado se tiene que existe una buena recuperación de cobre con una ley promedio de concentrado de 24,05% y ratio de concentración de 4,19, que para una campaña media mensual de extracción de mineral que se envía a la planta de 300 toneladas por mes, se obtendría 73,22 toneladas métricas de concentrado, lo cual la planta no obtiene esta producción, motivo de análisis y desarrollo de la presente investigación.

4.3. Prueba de Hipótesis

Primera Hipótesis Específica

La primera hipótesis indica que: Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada influirá directamente en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.

- **formular la hipótesis de investigación**

H_o: Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada no influye en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. **(hipótesis nula)**

H_a: Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada si influye en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. **(Hipótesis alterna)**

ii. Fijar el nivel de significación (α): α = 0,05

iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor

<0,05.

iv. Decisión:

Tabla 13. *Prueba de la primera hipótesis específica*

	Caracterizar la mineralogía de calcopirita
Z	- 2,122
Sig. Asintótica (bilateral)	0,035

Fuente: Elaboración propia

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que caracterizar la mineralogía de la calcopirita demuestra el grado de liberación de los minerales de cobre.

Segunda Hipótesis Específica

La segunda hipótesis indica: Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre influirá directamente en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.

- **Formular la hipótesis de investigación**

H_o: Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre no influye en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. **(hipótesis nula)**

H_a: Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre si influye en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. **(Hipótesis alterna)**

ii. Fijar el nivel de significación (α): α = 0,05

iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor <0,05.

iv. Decisión:

Tabla 14. Prueba de la segunda hipótesis específica

	Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre
Z	- 2,235
Sig. Asintótica (bilateral)	0,030

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre si influye Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019, toda vez que el estadístico Z de Wilcoxon es -2,235.

Hipótesis General

La hipótesis general señala que: Diagnosticar la caracterización mineralógica de la calcopirita influirá directamente en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.

Basado en los resultados de las hipótesis específicas es posible validar que el diagnóstico a los minerales de cobre contribuye a demostrar el ratio de concentración mineral de cabeza: concentrado y la rentabilidad del mineral.

4.4. Discusión de Resultados

El diagnóstico mineralógico por microscopía demuestra el grado de liberación de la calcopirita a tamaños menores a 3 mm, y no presenta dificultades en la concentración.

Las pruebas de flotación demuestras que se puede concentrar sin ningún inconveniente y con un ratio promedio de concentración mineral de mina: concentrado: 4,19, a nivel laboratorio.

La Planta Concentradora San Martín donde se procesa el mineral requiere un ratio de concentración de 6,30, aduciendo dificultades en la flotación por la falta de liberación y según la apreciación de los responsables de la planta, aseveran que existe sulfosales que dificultan la flotación y hay pérdida de cobre por sales en solución.

El balance metalúrgico experimental demuestra que, con un lote de 300 toneladas de mineral, se obtendría 73,22 toneladas métricas de concentrado de cobre y en la planta solo se obtiene 47,62 toneladas, haciendo una diferencia de 25,60 toneladas métricas.

CONCLUSIONES

1. El conocimiento del mineral de cobre que se explota en minera Estefany S.A.A., permitió demostrar que tiene 6,22% de cobre, como calcopirita, calcosina y bornita y como ganga, silicatos.

2. El desarrollo de pruebas al microscopio, demuestran que se tiene libre a los minerales de cobre como calcopirita y bornita, principalmente a particulares cuyo diámetro sean menores a 3,0 mm; no se observa minerales complejos y la ganga está principalmente compuesto de cuarzo y silicatos.

3. Las pruebas de flotación realizadas a un pH 12, como colector Z-6, promotor 1246, NaCN, CaO y espumante MIBC, demuestran que se puede obtener concentrados con 24,05% de Cu, a un ratio de concentración de 4,19 y de una campaña mensual de 300 toneladas de mineral de mina se puede obtener 73,22 toneladas métricas, lo cual difiere del volumen de concentrado entregado por la planta de flotación de terceros en 25,60 toneladas de concentrado de cobre; por consiguiente una importante pérdida de utilidades para la empresa.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el muestreo diariamente al mineral extraído de mina para tener los valores promedios reales del mineral a remitir a planta concentradora; a ello previamente desarrollar pruebas metalúrgicas y demostrarle cuantas toneladas de concentrado se debe obtener por campaña de acopio.

2. Desarrollar pruebas de microscopia a los minerales que se extrae, por presentarse siempre variaciones en la composición del mismo para tener una idea del volumen de concentrados a obtener y los costos que representan.

3. Continuar con el estudio relacionado a la caracterización mineralógica de la calcopirita ya que con las nuevas tecnologías y las pruebas metalúrgicas tendrían mucha influencia y daría resultados óptimos.

BIBLIOGRAFÍA

1) Baltierra, L. (2001). *Flotación Selectiva de Enargita desde Calcosita, Calcopirita y Pirita por Oxidación Diferencial y Formación Superficial del Complejo MgNH4AsO4*. Tesis de Ingeniero Civil Metalúrgico. Concepción.

2) Barona, F. (2007). *Influencia de la Distribución de Tamaño de Burbújas en la Recuperación de Flotación para Minerales de Cobre*. Tesis de Ingeniero Civil de Minas. Santiago de Chile.

3) Castro, S. H. (1997). Arsenic Abatement from Copper Concentrates by Selective Flotation:. *5th Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology*, (págs. 105 - 108). Buenos Aires.

4) Castro, S. H., & Honores, S. (2000). *Surface Properties and Floatability of Enargite Proceedings.* XXI International Mineral Processing Congress, (págs. 47 - 53). Roma.

5) Córdova, R., Gómez, H., & Scherebler, R. (1996). *An Electrochemical Study of Enargite in Aqueous Solutions by transient techniques.* IV Electrochemistry in Mineral and Metal Processing, (págs. 356 - 367). Pennington.

6) Fornasiero, D. F., & Li, C. (2001). *Separation of Enargite and Tennantite from Non - Arsenic Copper Sulfide Minerals by Selective Oxidation or Dissolution. International Journal of Mineral Processing*, (págs. 109 - 119). Utha.

7) García, H. (1965). Re*cuperación por Flotación es una Función Exponencial del Tiempo*. Boletin Minero, 83 -86.

8) Hernández, C. (2003). *Flotación y Depresión de enargita por Control Redox de sus Propiedades Superficiales*. Tesis Ingeniero Civil Metalúrgico. Concepción.

9) Inc., E. I. (1996). Enciclopedia Multimedia de Minerales. F&G.

10) Menacho, J. M., & Aliaga, W. (1993). *Selective Flotation of Enargite and Chacopyrite*. Boletin Minero, (págs. 33 - 39). Santiago de Chile.

11) Tajadod, J., & Yen, W. (1997). *A Comparison of Srface Properties and Flotation Characteristics of Enargite and Chacopyrite.* XX International Mineral Processing Congress, (págs. 409 - 418). Aachen - Alemania.

12) Yen, W., & Tahadod, J. (2000). *Selective Flotation of Enargite and Chacopyrite Proceedings* . XXI International Mineral Processing Congress, (págs. 49 - 55). Roma.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA CALCOPIRITA Y SU IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN DE CONCENTRADOS DE COBRE EN MINERA ESTEFANY S.A.A. – PACHACAYO – JAUJA – 2019

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
General ¿La caracterización mineralógica de la chalcopirita influirá en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019?	**General** Estudiar la caracterización mineralógica de la chalcopirita en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.	**General** Diagnosticar la caracterización mineralógica de la chalcopirita influirá directamente en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019.	**Dependiente** % de recuperación de Cobre
Específicos	**Específicos**	**Específicos**	**Independientes**

• ¿Será posible caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019? • ¿Será posible diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019?	• Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. • Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019	• Caracterizar la mineralogía de la calcopirita y minerales accesorios mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada influirá directamente en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. • Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre influirá directamente en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019	• Caracterización mineralógica • Dosificación de reactivos • Tiempo de flotación • pH

ANEXO 2

TRABAJO DE CAMPO DESARROLLADO

Foto 13. Aplicando el cuarteo para el análisis

Fuente: Elaboración propia

Foto 14. Pesando la muestra

Fuente: Elaboración propia

Foto 15. Tamices ordenados de mayor a menor

Fuente: Elaboración propia

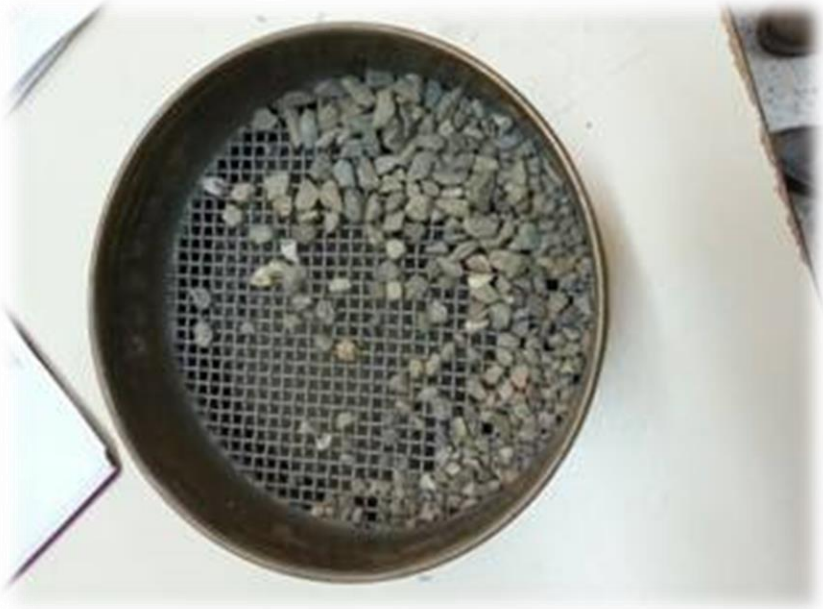
Foto 16. Colocando la muestra

Fuente: Elaboración propia

Foto 17. Tamices en el agitador mecánico

Fuente: Elaboración propia

Foto 18. Pesando la muestra retenida



Fuente: Elaboración propia

Foto 19. Pesando la muestra de agregado fino

Fuente: Elaboración propia.

Foto 20. Tamices

Fuente: Elaboración propia

Foto 21. ***Ubicación de pachacayo jauja - concesiones mineras***

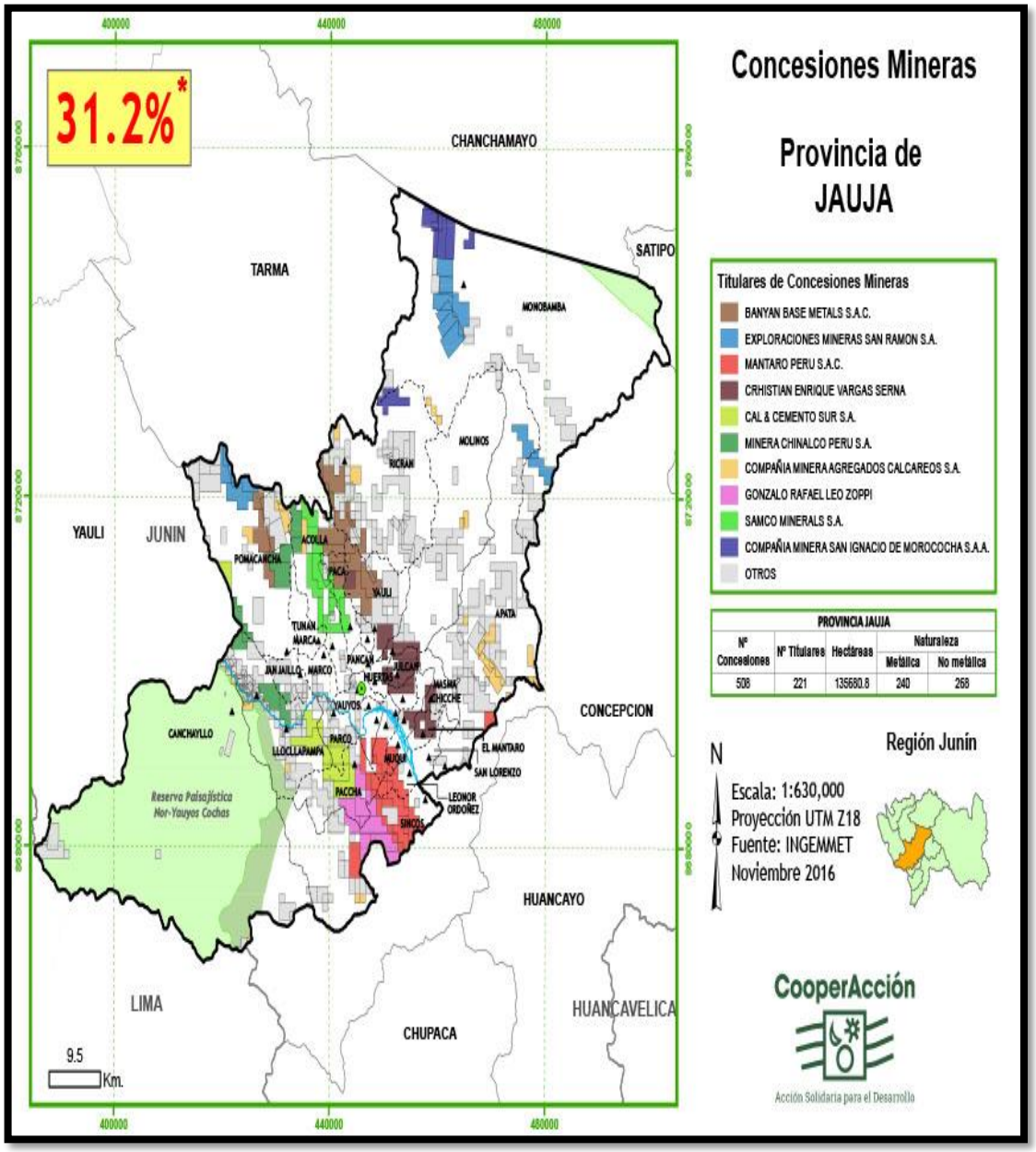


Foto 22. ***Ubicación geográfica de pachacayo jauja***