

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA VETA MILAGROS PARA LA PLANIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO METALÚRGICO DE LA MINERALIZACIÓN, PROSPECTO GRANADA - LA LIBERTAD 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA GEÓLOGA

Autora:

Merly Gisela Morales Malca

Asesor:

Ing. Mg. Shonel Miguel Cáceres Pérez

Cajamarca - Perú

2021

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	17
CAPÍTULO III. RESULTADOS .....	70
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	137
REFERENCIAS.....	143
ANEXOS.....	146

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Ficha para recolección de datos en campo.....	21
Tabla N°2 Ficha para levantamiento topográfico de la galería .....	21
Tabla N°3: Ficha para el muestreo.....	21
Tabla N°4: Ficha para recolección de datos en laboratorio de microscopia.....	22
Tabla N°5: Ficha para recolección de datos en laboratorio de análisis químico .....	22
Tabla N°6: Materiales y Métodos .....	25
Tabla N° 7: Métodos de muestreo. ....	28
Tabla N° 8: Registro de muestreo y toma de especímenes: .....	36
Tabla N° 9: Propiedades para descripciones mineralógicas.....	40
Tabla N° 10: Descripciones petrográficas.....	41
Tabla N° 11: Normas para la descripción macroscópica.....	42
Tabla N° 12: Pasos para realizar tinción de feldespatos potásicos. ....	45
Tabla N° 13: Muestras para análisis químico.....	48
Tabla N° 14: Tipos de análisis químico. ....	49
Tabla N° 15: Secciones y tipo de estudios: .....	57
Tabla N° 16: Propiedades de los minerales bajo el microscopio .....	61
Tabla N° 17: Leyes de la muestra de Cabeza Ag, Pb, Au. ....	65
Tabla N° 18: Leyes de la muestra de Cabeza Ag, Pb.....	68
Tabla N° 19: Ubicación de la zona de estudio WGS84 .....	70
Tabla N° 20: Accesibilidad hacia la zona de estudio .....	72
Tabla N° 21: Minerales Translúcidos - Ganga.....	91
Tabla N° 22: Minerales Opacos - Mena .....	92
Tabla N° 23: Minerales de alteración .....	108
Tabla N° 24: Descripción de los minerales en microscopio óptico.....	113
Tabla N° 25: Clasificación de las texturas .....	120
Tabla N° 26: Análisis químico de la prueba experimental Ag Pb Au.....	133
Tabla N° 27: Balance metalúrgico tentativo para Ag Pb Au: .....	133
Tabla N° 28: Análisis químico de la prueba experimental Ag Pb.....	135
Tabla N° 29: Balance metalúrgico tentativo para Ag Pb .....	135
Tabla N° 30: Elementos Económicos .....	137
Tabla N° 31: Elementos Penalizables .....	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Flujograma de la secuencia del procedimiento. ....	26
Figura N° 2: Descripción de muestra e incremento. ....	29
Figura N° 3: Tipos de Muestreo por canales. ....	30
Figura N° 4: Foto con vista al SE, reconocimiento de la zona donde aflora la Veta Milagros ....	31
Figura N° 5: Levantamiento topográfico ....	32
Figura N° 6: Mapeo geológico subterráneo. ....	33
Figura N° 7: Marcado de los puntos de muestreo ....	34
Figura N° 8: Extracción de las muestras ....	35
Figura N° 9: Plano de Muestreo. ....	37
Figura N° 10: Análisis textural y composición mineralógica, utilizando un estereoscopio. ....	39
Figura N° 11: Muestras para análisis textural y composición mineralógica ....	40
Figura N° 12: Secuencia general de la descripción. ....	42
Figura N° 13: Galletas de roca preparada para ser tinción. ....	43
Figura N° 14: Materiales para la tinción de feldespatos. ....	44
Figura N° 15: Equipos de protección personal utilizados en la tinción de feldespatos. ....	44
Figura N° 16: Procedimientos de la tinción de feldespatos potásicos. ....	45
Figura N° 17: El método del cuarteo. ....	47
Figura N° 18: Cuarteo de la muestra ....	47
Figura N° 19: Muestras para enviar al laboratorio ....	48
Figura N° 20: Preparación de secciones. ....	57
Figura N° 21: En la parte superior: secciones delgadas y delgado/pulidas ....	58
Figura N° 22: ZEISS Primotech, Microscopio Binocular de Polarización ....	59
Figura N° 23: Caracterización de minerales en el microscopio óptico. ....	62
Figura N° 24: Plateo del concentrado de plomo plata. ....	66
Figura N° 25: Plateo del concentrado de pirita. ....	67
Figura N° 26: Plateo del relave ....	67
Figura N° 27: Plano de Ubicación. ....	71
Figura N° 28: Vista NW-SE panorámica tomada desde el frente del Cerro Santa Rosa. ....	73
Figura N° 29: Estratigrafía Regional de la zona de estudio. ....	76
Figura N° 30: Vista NE-SE panorámica del prospecto. ....	78
Figura N° 31: Plano Geológico Regional. ....	79
Figura N° 32: Vista NE-SE, rocas volcánicas e intrusivas. ....	80
Figura N° 33: Estratigrafía Local de la zona de estudio. ....	81
Figura N° 34: Plano Geológico Local ....	85
Figura N° 35: Vista hacia el S panorámica. Cerro Santa Rosa. ....	86
Figura N° 36: Vista hacia el S. El afloramiento de la Veta Milagros. ....	87
Figura N° 37: Vetas que afloran en el Cerro Santa Rosa. ....	88
Figura N° 38: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Plagioclasa ....	93
Figura N° 39: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Anfíboles ....	93
Figura N° 40: A- Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Biotita. ....	94
Figura N° 41: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Apatito ....	95
Figura N° 42: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzado. Cuarzo I. ....	95
Figura N° 43: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Inclusiones fluidas ....	96
Figura N° 44: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Cuarzo II ....	96
Figura N° 45: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Sericita ....	97
Figura N° 46: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Cuarzo ....	97
Figura N° 47: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Pirofilita. ....	98
Figura N° 48: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Cuarzo y pirofilita . ....	99
Figura N° 49: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Sericita. ....	99
Figura N° 50: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Sílice amorfa ....	100
Figura N° 51: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Pirofilita y Sílice amorfa ....	100
Figura N° 52: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Zircon ....	101
Figura N° 53: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Turmalina. ....	102
Figura N° 54: A: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos, Turmalina y cuarzo. ....	102
Figura N° 55: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Pirita ....	103
Figura N° 56: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Sulfosales ....	104
Figura N° 57: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Estibina. ....	105

Figura N° 58: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Jamesonita .....	105
Figura N° 59: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Calcopirita. ....	106
Figura N° 60: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Arsenopirita .....	107
Figura N° 61: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Bornita.....	107
Figura N° 62: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Cobresgrises .....	108
Figura N° 63: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Sericita y turmalina.....	109
Figura N° 64: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Oxisales de plomo .....	110
Figura N° 65: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Oxisales de plomo y sericita. ....	111
Figura N° 66: A- Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Cloritas .....	111
Figura N° 67: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Jarosita.....	112
Figura N° 68: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Covelita .....	112
Figura N° 69: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Leucoxeno (LCX).....	113
Figura N° 70: Secuencia de formación de la Veta Milagros .....	117
Figura N° 71: Clasificación Textural. Minerales Competentes Vs. Incompetentes.. .....	118
Figura N° 72: Equipo Zeiss Mineralogic. ....	125
Figura N° 73: Minerales identificados por el Zeiss Mineralogic. ....	126
Figura N° 74: Química de la muestra y porcentajes de los elementos. ....	128
Figura N° 75: Elementos que contienen plata (Ag). ....	129
Figura N° 76: Elementos que contienen plomo (Pb).....	129
Figura N° 77: Elementos que contienen arsénico (As). ....	130
Figura N° 78: Elementos que contienen antimonio (Sb).....	131
Figura N° 79: Asociaciones de contacto entre los principales minerales de mena. ....	131

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad caracterizar la mineralogía de la veta Milagros de modo que, se pueda identificar los minerales de mena que existen, formas, ocurrencias y su relación con las gangas, para fines de beneficio metalúrgico, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo – Cualitativo, fue de tipo aplicativo, de alcance correlacional y de diseño no experimental. La investigación se realizó de un total de 21 muestras, con procedimientos establecidos para cada etapa del análisis, en campo se realizó el mapeo de la litología, alteraciones, muestreo y toma de especímenes, en el laboratorio se logró identificar y caracterizar a los minerales que componen la Veta Milagros, mediante el uso de un microscopio y el software que permitió tomar las fotomicrografías, para realizar 13 estudios microscópicos detallados, se analizó una muestra con el software automatizado Zeiss Mineralogic en Inglaterra para verificar los minerales caracterizados. Además, se realizó pruebas de flotación para analizar el comportamiento de los minerales portadores de elementos económicos y evaluar el porcentaje de recuperación de cada uno de ellos.

En el presente trabajo de tesis se analizan 13 muestras que a través de su caracterización ayudarán a determinar el mejor proceso metalúrgico para la extracción y recuperación de la Veta Milagros. Optando realizar pruebas de flotación debido a los porcentajes mayoritarios de sulfuros resaltando en cada paso la importancia de los estudios microscópicos para mejorar el aprovechamiento de la información contenida en un estudio de microscopía óptica obtenido mediante los ensambles mineralógicos, minerales portadores de elementos económicos, texturas, etc.

**Palabras clave:** Caracterización mineralogía, microscopía, geometalúrgica, flotación.

## ABSTRAC

The purpose of this research was to characterize the mineralogy of the Milagros vein so that the existing ore minerals, forms, occurrences, and their relationship with the gangas can be identified, for metallurgical benefit purposes, the study had a quantitative - Qualitative approach. It was of the applicative type, of correlational scope and of non-experimental design. The investigation was carried out with a total of 21 samples, with procedures established for each stage of the analysis, in the field the mapping of the lithology, alterations, sampling and taking of specimens was carried out, in the laboratory it was possible to identify and characterize the minerals that make up the Milagros Vein, through the use of a microscope and the software that allowed taking the photomicrographs, to perform 13 detailed microscopic studies, a sample was analyzed with the automated Zeiss Mineralogic software in England to verify the characterized minerals. In addition, flotation tests were carried out to analyze the behavior of the minerals bearing economic elements and to evaluate the recovery percentage of each one of them.

In this thesis work, 13 samples are analyzed that through their characterization will help to determine the best metallurgical process for the extraction and recovery of the Milagros Vein. Opting to carry out flotation tests due to the majority percentages of sulfides highlighting in each step the importance of microscopic studies to improve the use of the information contained in an optical microscopy study obtained through mineralogical assemblages, minerals bearing economic elements, textures, etc.

**Keywords:** Characterization mineralogy, microscopy, geometallurgical, flotation

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.**



## REFERENCIAS

- Amstutz, G. (1971). *Glossary of Mining Geology*. Heidelberg. Elsevier Publishing Company. 196 p.
- Aranda, A. (2015). *Geoquímica y geotermometría de las vetas del prospecto Campana AC, La Libertad-Perú*. Tesis de pregrado. 124 p.
- Araujo, M. (2014). *Optimización en la recuperación de oro de minerales mixtos en Cerro Corona – goldfields La Cima*. Tesis de pregrado. Lima
- Cánepa, C. (1989). *La determinación microscópica del Grado de Liberación de los Minerales: Metodología y campos de aplicación*. Bol. Soc. Geol. del Perú, vol. 79, pp 91-110.
- Cánepa, César (2004) *Estudio de Microscopia en productos de flotación Bulk Pb-Cu” Informe No. 027-004 para Minera Atacocha*. Perú.
- Cobbing, E.J., Et Al. (1981a). *Estudio geológico de la Cordillera Occidental del norte de Perú*. INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios. Especiales. 252 p.
- Cossio, A. (1964). *Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. Carta Geológica Nacional*. Boletín 8. Lima-Perú.: INGEMMET. 69 p.
- Canchaya, S. (2011, Septiembre 14). Visita de Exploración. (M. Terrones, Interviewer) La Granada, La Libertad.
- Castro Dorado, A. (1989) *Petrografía Básica*. Editorial Paraninfo. Madrid, España.
- Castroviejo, R. (1998) *Fundamentos de Petrografía*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

- Chirif, L. (2010). *Microscopía Óptica de Minerales*. Lima – Perú.
- Escamilla, C. & Reyes, J. (2006). *Recuperación de metales preciosos provenientes de Presa de Jales*. En: Encuentro sobre procesamiento de minerales, 13. San Luis Potosí, 11-13 Octubre 2006.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (1994). *Definición del tipo de investigación a realizar: básicamente exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. Metodología de la investigación*, México, Mc Graw Hill, Cap. 4 y 5. pp 69-78.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (1994). *Diseños no experimentales de investigación. Metodología de la investigación*, México, Mc Graw Hill, Cap. 6, pp244-258.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*, México, Mc Graw Hill, Cap. 1, pp 10-13.
- Klein C. & Hurlbut C. (1997). *Manual de Mineralogía. Vol. 2. Editorial Reverté. España*.
- Lambert, A. (2006). *Manual de muestreo para exploración, minera subterránea y rajo abierto*. Coquimbo IV Región, Chile.
- Mamani, A. (2019). *Caracterización Geometalúrgica de la Veta Negrita, Santiago de Chuco La Libertad*. Cusco. Tesis de Grado UNSAAC.
- Manzaneda, J. (2010). *Aplicación de microscopía en el procesamiento de minerales por flotación*. Tesis de Master – UNI. Lima
- Ministerio de Energía y Minas del Perú (2016). *Anuario Minero 2015: Estadística Minera, Producción y Exportaciones*. Lima: Dirección de Producción Minera.

- Mejia, N. (2018). *Estudio Petrográfico y Geoquímico de los cuerpos intrusivos del Prospecto Granada; Distrito y Provincia de Santiago de Chuco - La Libertad*. Tesis de pregrado. Cusco.
- Muñoz, M. (2007). *Extracción de metales por hidrometalurgia. Principios de Obtención de Materiales*. Editorial UPV. Valencia.
- Petruk, W. (2000). *Applied mineralogy in the mining industry*. Elsevier. Ottawa, Ontario, Canada. 268p.
- Quepuy, E. (2010). *Prospectos Evaluados - Sofía Severina. Área de Exploraciones*.
- Ramdohr, P. (1969). *The Ore Minerals and their Intergrowths*. Pergamon Press. Heidelberg, Alemania.
- Rivera, M.; Monge, R. & Navarro, P. (2005). *Nuevos datos sobre el volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú: Departamentos de La Libertad y Ancash*. Boletín Sociedad Geológica del Perú. Lima. 17p.
- Salazar, L. (2005). *Evaluación del Prospecto Gloria Cristina, Santiago de Chuco la Libertad*. Lima.
- Schouten, C. (1962). *Determination Tables for Ore Microscopy*. Elsevier Publishing Company. Holanda.
- Taylor, R. (2009). *Ore Textures*. Editorial Springer. Townsville, Australia.
- Terrones, M. (2019). *Análisis multivariable y variográfico para orientar la exploración del Prospecto Granada – La Libertad*. Tesis de pregrado. Cajamarca.
- Valeriano, M. (2018). *Estudio minerográfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre*. Tesis de pregrado. Arequipa.
- Zabaleta, A. (2000). *El oro: comercio, obtención y aplicaciones*. 2nd ed. Madrid, España: Sociedad Española de Metales Preciosos. 184 p.