

# 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

## DEDICATORIA

A mis padres: Graciela Malca y Esvan Morales por brindarme todo su amor y fortaleza en momentos de debilidad, a mi madrina: Marisol Malca por ser guía y apoyo en todo momento.

A mis hermanos: Eddy y Victoria que me brindan su compañía, confianza y ánimos en todos los momentos de mi vida.

A mi familia, amigas y compañeros de trabajo por su constante motivación y apoyo moral.

¡A todos ustedes, muchas gracias por estar siempre ahí!

Merly G.

## AGRADECIMIENTO

Al director de carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad Privada del Norte- Cajamarca Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez y a todos los profesores en especial a Ing. Iván Ramírez; por sus conocimientos impartidos y motivación constante para lograr nuestros objetivos

Un especial agradecimiento a la M. Sc. Karin Dávalos por su orientación, soporte, consejos y recomendaciones durante la planificación y desarrollo de esta tesis.

Del mismo modo al M. Sc. Samuel Canchaya, Gerente General de la empresa consultora Sampling OK, por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis en las instalaciones de su empresa.

Finalmente, debo agradecer al Ing. Eduardo Trujillo por las hospitalidad, atenciones y facilidades prestadas durante el trabajo de campo, en el campamento de la zona de estudio.

A todos ustedes mi completo agradecimiento.

Merly G.

## 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

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El Perú es bastante conocido por el potencial de sus yacimientos metálicos de la zona andina, como país minero se encuentra dentro de los primeros puestos con más reservas de oro del mundo, sin embargo, sólo explotamos menos del 20% del enorme potencial que tenemos, y gran parte de ello se debe a la falta de inversión en exploración e investigación y tecnología, afectando principalmente a la pequeña minería, puesto que muchas de estas empresas no cuentan con los recursos adecuados para caracterizar y tratar a los minerales presentes en sus yacimientos. (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2016). El Prospecto Granada es uno de ellos, éste abarca tres eventos importantes de mineralización: El pórfido granada, las vetas hidrotermales de Ag – Au y el Cerro Santa Rosa, pero ninguno de estos está siendo explotado por la falta de estudios, caracterización, análisis y pruebas que demuestren el gran potencial económico de este proyecto.

Escamilla C. y Reyes J. (2006) en su investigación “Recuperación de Metales preciosos provenientes de Presa de Jales”, presentada en la universidad Autónoma de San Luis Potosí – México. Manifiestan que el beneficio de minerales provenientes de presa de jales está presentando una importante generación de valor económico agregado en el procesamiento de minerales. El desarrollo de nuevos procesos de beneficio de minerales provenientes de presa de jales no sólo está enfocado al beneficio de minerales sulfuros de cobre, plomo, zinc y a los no sulfuros como la fluorita, sino también al procesamiento de minerales preciosos, tales como oro y plata por el método de flotación, pues resultan económicamente atractivas para su procesamiento.

Nuñoz, M. (2007) en su estudio “Extracción de metales por hidrometalurgia. Principios de Obtención de Materiales” indica que la flotación es un proceso físico-químico de tensión superficial que separa los minerales sulfurados de otros minerales, en base a las

diferentes propiedades superficiales de los minerales. Por ello la flotabilidad del Au y Ag depende del tipo de mineral al que se encuentra asociado estos minerales, del tamaño de las partículas de menas, del grado de liberación, de la forma, del intercrecimientos y de la relación con las gangas.

Zabaleta A. (2000). En el estudio “El oro: comercio, obtención y aplicaciones.” afirma que el oro ha tenido y tiene diferentes formas de incidencia en minerales sulfurados que van desde estar diseminados e integrados en minerales como plomo y cobre, óxidos metálicos especialmente como partículas diseminadas. Donde el oro está íntimamente asociado con varios minerales de sulfuro especialmente sulfuro de hierro el cual incluye pirita, arsenopirita y pirrotita, la recuperación del oro por flotación depende de la recuperación de los minerales asociados, en este caso el oro sigue la recuperación de los minerales asociados de sulfuro.

Manzaneda, J. (2010). En su tesis de master “Aplicación de Microscopia en el procesamiento de minerales por flotación” menciona la importancia de la microscopia óptica, la experiencia y el nivel de conocimientos mineralógicos del operador son determinantes para la identificación específica o genérica de la mayoría de los minerales significativos para el tratamiento metalúrgico. También menciona que proceso de flotación es importante y trascendente porque hace posible que minerales valiosos de baja ley puedan ser recuperados de manera económica, con la aplicación de herramientas de análisis de regresión estadística y caracterización mineralógica con microscopia óptica o de barrido.

Valeriano, M. (2018). En su tesis “Estudio minerográfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre” afirma que el análisis químico de una mena, aparte de indicar la cantidad de elementos presentes, no proporciona información sobre las características principales de cada uno de los minerales que constituye la mena. Por otro lado, el análisis minerográfico, es una técnica dedicada a la identificación de los minerales y al conocimiento detallado de sus propiedades físicas y

químicas. Consciente de la importancia del análisis minerográfico muestra ventajas en la solución de los diferentes problemas que se presentan durante la fase de producción, las cuales facilitan la toma de medidas de control en las operaciones unitarias alrededor del proceso de flotación.

Salazar, L. (2005). En su estudio titulado: “Evaluación del Prospecto Gloria Cristina, Santiago de Chuco la Libertad” menciona que la zona de estudio ha sido de mucho interés tanto para pequeñas como grandes empresas mineras, debido a la presencia de extensas áreas alteradas principalmente por: silicificación, limonitización, jarositización y oxidación. Por ello empresas como: Beer Creak y Southern Perú Copper Corporation (SPCC) en el año 2005, y compañía minera Buenaventura en el año 2011, realizan trabajos de prospección, exploración y perforación con evidencia de valores anómalos de cobre relacionados con alteración potásica en profundidad.

Quepuy, E. (2010). En su estudio de exploración titulado: “Prospectos Evaluados - Sofía Severina”, menciona que la alteración de la zona estaría asociada a pórfidos de cobre con presencia de ensambles de cuarzo, pirita y sericita, correspondientes a la alteración fílica y presencia de ferromagnesianos alterados a biotita secundaria, indicando una posible alteración potásica. Por otro lado, la mineralización se presenta diseminada con trazas de calcopirita, esfalerita, arsenopirita, estibina, vetillas de cuarzo semi-hialino con pirita, trazas de calcosina y pátinas de óxidos de cobre, teniendo a la granodiorita como roca huésped con anomalías de Cu y Mo cortada por numerosas vetas con anomalías de Ag y Au.

Mejía, N. (2018). En su investigación: “Estudio Petrográfico y Geoquímico de los cuerpos intrusivos del Prospecto Granada; Distrito y Provincia de Santiago de Chuco - La Libertad 2018”. Con respecto a la geología de la zona, menciona que está conformada por rocas volcánicas del Grupo Calipuy; intruidas por stocks principalmente granodioríticos con texturas que varían desde porfiríticas hasta afaníticas. Dichos stocks muestran



principalmente silicificación y turmalitización con diseminación y micro-venilleo de pirita.

El control estructural más importante de la zona es la falla de dirección N50°E, que se intersecta con un sistema de fracturamiento N60°O; generalmente subvertical observado en la mayor parte de las vetas; y un tercer sistema de dirección NS, que al parecer controló el emplazamiento de varias brechas hidrotermales de sílice y turmalina.

Terrones, M. (2019). En su estudio titulado: “Análisis multivariable y variográfico para orientar la exploración del Prospecto Granada – La Libertad”, indica que la mineralización presenta una orientación noroeste – sureste, de acuerdo con los trabajos variográficos realizados por, quien ratifica la evidencia de alteración, mineralización y resultados anómalos en los afloramientos del cerro Santa Rosa donde se ubica la veta Milagros. También menciona los afloramientos de la veta Negrita de Au y Ag, ubicada al sur este de la perforación del prospecto Granada, dentro del corredor NO-SE, muestra anomalías de Au de hasta 0.3 gr/t; y en afloramientos como la Veta Gaby en el Cerro Santa Rosa, muestran leyes desde 0.3 hasta 22 gr/t de Au. Ambas dentro del control estructural de mineralización noroeste – sureste.

La veta Milagros es la más importante de un conjunto de vetas de Ag-Au que afloran en el cerro Santa Rosa que comprende a uno de los eventos de mineralizaciones del prospecto Granada ubicado en el departamento de La Libertad. En la actualidad, solo se tiene una labor longitudinal de reconocimiento y se está preparando su explotación, la presente tesis tiene como objetivo realizar una caracterización mineralógica y determinar los minerales mena, formas, ocurrencias y su relación con las gangas, ensambles e intercrecimientos complejos que permitan definir el adecuado tratamiento metalúrgico, con la finalidad de mejorar la recuperación de mineral.

Con respecto a las características del yacimiento, se trataría de un yacimiento tipo pórfido de cobre, al que se asocia la veta Milagros, en la misma que se han encontrado

preliminarmente altos porcentajes de contenidos de sulfuros (pirita, esfalerita, estibina, miargirita, zikenita, calcopirita) asociados a Ag-Au, complementando el estudio mineralógico, se realizó pruebas de flotación de la mineralización de la veta, con la finalidad de verificar la eficiencia del proceso de recuperación, por ser la opción más adecuada para concentración de minerales sulfurados.

La mineralogía es muy variable, y una correcta caracterización mineralógica de la veta Milagros nos dará los parámetros adecuados para explotarla por elementos como Ag y Au. Pese a que el yacimiento presenta leyes relativamente altas Ag hasta de 53.88 oz/TM y Au hasta 8.61 gr/TM (Ver Anexo N°03), será necesario determinar los ensambles mineralógicos para estimar el potencial para recuperar estos elementos, y evaluar el comportamiento de los minerales durante el procesamiento, y que se pueda ver afectar la viabilidad económica del proyecto. Por lo que hemos creído realizar todos estos análisis a fin de aportar a la empresa dueña del proyecto con una propuesta que aporte a la optimización de la recuperación durante el tratamiento de la mineralización.

Por ello, hemos creído conveniente formularnos la siguiente pregunta de investigación: ¿Podrá la caracterización mineralógica de la veta Milagros predecir los problemas que podrían presentarse durante el tratamiento metalúrgico de la mineralización?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

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 beneficio metalúrgico.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar los minerales mena, formas, ocurrencias y su relación con las gangas, ensambles e intercrecimientos complejos.
- Identificar los principales minerales portadores de los elementos económicos. Definir la ocurrencia de minerales portadores de elementos penalizables o contaminantes y recomendar posibles artificios metalúrgicos para minimizar los problemas que producen.
- Correlacionar la información mineralógica y geoquímica sobre las menas, y proponer el tratamiento metalúrgico que se ajuste a las características mineralógicas y geoquímicas del material extraído optimizando la recuperación.

### 1.3. Hipótesis

#### 1.3.1. Hipótesis general

La identificación de los minerales de la Veta Milagros permitirá la planificación de un método de tratamiento que permita optimizar la recuperación mineralogía.

#### *Descripción de términos básicos*

**Caracterización Mineralógica:** es la aplicación de información mineralógica para comprender y resolver los problemas encontrados durante la exploración y la minería, y durante el procesamiento de minerales, concentrados, productos de fundición y materiales relacionados que caracterizan minerales y materiales, muchas técnicas para determinar las características minerales se han desarrollado en las últimas tres décadas como resultado de la disponibilidad de nuevos equipos que incluyen microscopio. Los resultados obtenidos al usar el equipo mencionado anteriormente han aumentado nuestro conocimiento de las características minerales y han proporcionado una mejor comprensión de los comportamientos minerales durante el procesamiento. Los resultados de los estudios

mineralógicos relacionados con las operaciones de procesamiento de minerales se realizan para producir concentrados de calidades satisfactorias y recuperaciones de metales o minerales óptimos. (Petruk, W., 2000).

**Flotación:** Método de concentración de mena que induce las partículas de esta, a flotar en la superficie del agua u otra solución, generalmente sostenidas mediante burbujas de aire. Mientras que las partículas de la ganga se van al fondo. (Amstutz, G. 1971).

**Ganga:** Componentes minerales de una mena o de un producto de concentración, los cuales carecen de valor, bajo algunas circunstancias se trata de eliminar la mayor parte posible. (Amstutz, G. 1971).

**Mena:** Cualquier masa de roca de la cual uno o más minerales o metales pueden ser recuperados con utilidad, se forman por la deposición sucesiva de minerales alrededor de los fragmentos de brecha en una veta. (Amstutz, G. 1971).

**Paragénesis:** Grupo de minerales que se encuentran juntos u orden de deposición y cristalización de los minerales presentes. (Amstutz, G. 1971).

**Roca de Caja:** La roca común de un área o un lugar dado que contiene materias de minerales económicos, singenéticas o epigenéticas. (Amstutz, G. 1971).

**Veta:** En el lenguaje minero no técnico se utiliza para cualquier material mineral económico o no económico, los cuales presentan una naturaleza tubular o laminar, incluso si esta masa es una capa estratigráfica; Son fisuras de la corteza terrestre rellenas con mineral, fragmentos de roca encajante, o de las primeras generaciones de materia mineral en cuyos intersticios se deposita el mineral de la última generación, formada de capas de diferentes minerales paralelas a la caja. (Amstutz, G. 1971).

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

De acuerdo al propósito de la investigación, naturaleza de los problemas y objetivos formulados el trabajo, el presente estudio reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una investigación aplicada, el estudio presenta un enfoque cualitativo según lo expuesto por Hernández, Fernández y Baptista (2014) quienes afirman que este enfoque presenta las siguientes características: en el punto de partida de la investigación hay una realidad que descubrir, construir e interpretar, donde la realidad es la propia mente, esta cambia por las observaciones y la recolección de datos, este estudio permite subjetividad, se aplica lógica inductiva, el investigador presenta sus propios valores y creencias, la teoría se construye en base a datos empíricos obtenidos y analizados (luego se compara con otros estudios), se generan hipótesis al inicio o al final del estudio, la recolección de datos se orienta al mayor entendimiento de los resultados, la forma de analizar datos es mediante imágenes, textos, gráficos, documentos, la forma en presentar resultados el investigador emplea ciertos formatos como: narraciones, fragmentos de textos, videos, fotografías y/o mapas; diagramas y modelos conceptuales, los reportes son de manera personal y emotiva; todos estos puntos se relacionan con la presente investigación.

El nivel de investigación será una investigación según su profundidad "Descriptiva" en un primer momento, luego será correlacional, de acuerdo con la finalidad de la misma. Según Hernández, et al. (1994) quienes mencionan que:

Son dos los factores que influyen en que una investigación se inicie como exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa: el estado del conocimiento en el tema de investigación que nos revele la revisión de la literatura y el enfoque que el investigador pretenda dar a su estudio. (...), la literatura nos puede revelar que hay “piezas y trozos” de teoría con apoyo empírico moderado, esto es, estudios descriptivos que han

detectado y definido ciertas variables. (...), la literatura nos puede revelar la existencia de una o varias relaciones entre conceptos o variables. En estas situaciones la investigación se iniciará como correlacional. (p. 76).

Según lo expuesto, la presente investigación se inicia en descriptiva juntamente con correccional, por lo que corresponde a estos dos niveles.

La metodología de la investigación: En la presente investigación se empleará el método descriptivo, el mismo que se complementará con las correlaciones según corresponda.

Diseño de la Investigación: Dada las características de la investigación reúne las características para tratarse de una investigación no experimental, transversal, correlacional, según lo expuesto por Hernández, et al. (1994) quienes mencionan:

La investigación no experimental es investigación sistemática y empírica en la que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa y dichas relaciones se observan tal y como se han dado en su contexto natural. (...) En algunas ocasiones la investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo. En estos casos el diseño apropiado (bajo un enfoque no experimental) es el transversal o transeccional. (...) Los diseños transeccionales correlacionales/causales tienen como objetivo describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado. Se trata también de descripciones, pero no de variables individuales sino de sus relaciones, sean éstas puramente correlacionales o relaciones causales. (p246-248).

Durante toda la investigación se siguió y respeto consideraciones y aspectos éticos como transparencia y honestidad en la toma de datos, confiabilidad con el procesamiento y tratamiento de estos.

## 2.2. Población y muestra

### 2.2.1 Población

Definida por todas las vetas del Proyecto Granada, actualmente 06 vetas descubiertas.

### 2.2.2 Muestra

Veta Milagros.

## 2.3. Materiales, instrumentos y métodos

### 2.3.1 Materiales

Para que le presente estudio se realice de la mejor manera es indispensable contar con los materiales que se detalla a continuación:

- **Mapas y Planos:** descargados y editados de la página del INGEMMET para tener información geológica a escala regional de la zona.
- **GPS:** Navegatorio Garmin, utilizado para la obtención de coordenadas para la ubicación de puntos, chimenea, Boca mina.
- **Brújula Brunton:** Utilizado para la toma de datos de direcciones de la veta, galería, estructuras, etc.
- **Picota de geólogo, bolsas de muestreo, marcadores y etiquetas.** Herramientas utilizadas para extraer los especímenes y muestras más representativas de la veta.

- **Wincha y Flexómetro (5m):** usado para realizar el levantamiento topográfico de la cortada y galería de la veta.
- **Protactor:** Para escalar las distancias en el plano de mapeo, y también se utilizó para dibujar los azimuts tomados.
- **Cámara fotográfica:** utilizada para el registro fotográfico.
- **Libreta de campo:** para registrar toda la información obtenida en campo, además de anotaciones y cartografiado.
- **Lapiceros y lápiz:** utilizados para anotaciones y cartografiado.
- **Lupa 20x:** para observar minerales que no se diferencia a simple vista.
- **Ácidos:** ayudaron a caracterización de minerales a escala macroscópica.
- **Lápiz de dureza:** para determinar la dureza de los minerales que componen las muestras.
- **Software Nis,** para el análisis modal de cada muestra, SAAI (Software Analizador Automático de Imágenes) para determinar los porcentajes de minerales. MATSCOPE para la captura de fotomicrografías.
- **Laptop,** máquina usada para el procesamiento de datos y redacción de informes.
- **Balanza electrónica:** Equipo utilizado para pesar las muestras representativas tomadas en la zona de estudio.
- **Estereoscopio:** Instrumento óptico utilizado para determinar minerales en las muestras de mano.
- **Microscopio óptico:** Equipo utilizado para poder analizar las secciones delgado/pulidas de cada muestra.
- **Otros:** Todos los materiales que no se mencionan y fueron igual de importantes para la realización de esta caracterización mineralógica.



### 2.3.2 Instrumentos

En la recolección de datos en campo se hará uso de las siguientes tablas que son las fichas de observación y medición de datos de la veta y galería, las cuales servirán como instrumentos para reunir toda la información recolectada en campo, estos datos serán tomados in situ mediante observación directa y con ayuda de equipos geológicos descritos en el ítem de materiales (2.3.1).

Tabla N°1

*Ficha para recolección de datos en campo*

| Punto | Norte | Este | Cota | Azimut | N°Foto | Descripción | Código de muestra |
|-------|-------|------|------|--------|--------|-------------|-------------------|
| P1    |       |      |      |        |        |             |                   |
| P2    |       |      |      |        |        |             |                   |
| ...   |       |      |      |        |        |             |                   |

Formato para usar en la recolección de datos en campo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°2

*Ficha para levantamiento topográfico de la galería*

| Tramo | Desde | Hasta | Longitud | Rumbo | Azimut | Alto | Ancho | Descripción |
|-------|-------|-------|----------|-------|--------|------|-------|-------------|
| T1    |       |       |          |       |        |      |       |             |
| T2    |       |       |          |       |        |      |       |             |
| ...   |       |       |          |       |        |      |       |             |

Formato por usar para el levantamiento topográfico en la galería. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3

*Ficha para el muestreo*

| Código | Norte | Este | Cota | Fotos | Descripción | Fecha | Zona | Responsable |
|--------|-------|------|------|-------|-------------|-------|------|-------------|
| VM-01  |       |      |      |       |             |       |      |             |
| VM-02  |       |      |      |       |             |       |      |             |
| ...    |       |      |      |       |             |       |      |             |

Formato por usar para el muestreo en campo. Fuente: Elaboración propia.

En la recolección de datos en laboratorio se hará uso de las siguientes tablas que son las fichas de observación de cómo se presentan los minerales en las secciones delgadas y delgado/pulidas, las cuales servirán como instrumentos para reunir toda la información recolectada en laboratorio, estos datos serán tomados en el laboratorio

con muestras preparadas observación directa y con ayuda de equipos geológicos descritos en el ítem de materiales (2.3.1).

Tabla N°4

*Ficha para recolección de datos en laboratorio de microscopía*

|                |             |                 |                  |
|----------------|-------------|-----------------|------------------|
| Cód. Muestra   | Estructura  | Ley de Au (g/t) | Ley de Ag (oz/t) |
| VM-01          | Roca Caja   | -               | -                |
| Clasificación: |             | Textura:        |                  |
| Minerales      | Abundantes: | Autor:          |                  |
|                | Escasos:    |                 |                  |

Formato por usar en la recolección de datos en el laboratorio de microscopía. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°5

*Ficha para recolección de datos en laboratorio de análisis químico*

| ANALISIS  | Weight | Au +140<br>(Ponderado) | Au -140<br>(Ponderado) | Au Total<br>(Ponderado) | Ag  | As | Pb | Zn | Sb |
|-----------|--------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----|----|----|----|----|
| UNIDADES  | kg     | g/t                    | g/t                    | g/t                     | ppm | %  | %  | %  | %  |
| Min detec |        |                        |                        |                         |     |    |    |    |    |
| Min detec |        |                        |                        |                         |     |    |    |    |    |
| VM-02B    |        |                        |                        |                         |     |    |    |    |    |
| ...       |        |                        |                        |                         |     |    |    |    |    |

Formato para usar en la recolección de datos en el laboratorio de análisis químico. Min detec, significa límite mínimo de detección. Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.3 Métodos

Los métodos utilizados son, observar, describir, analizar, comparar, deducir y explicar a través de cuadros, tablas, gráficos, figuras, ilustraciones, microfotografías, etc. Los datos tomados en campo son cotas, rumbo o azimut, descripción detallada de alteraciones, estructuras geológicas, vetas, brechas, que se evidencien en el área de estudio, ya sean tomados mediante fotogeología y/o en el cartografiado geológico; teniendo en cuenta que dichos datos son reales y no están sujetos a ser manipulados o modificados, generando resultados objetivos que posteriormente van a ser evaluados y procesados. La información obtenida de las muestras de mano, análisis químico y pruebas de flotación se insertará en el software Matscope, NIS, ArcGIS y AutoCAD, los cuales sirvieron para determinar la factibilidad y optimización de la explotación en la Veta Milagros.

El trabajo se desarrollará en cuatro etapas:

### **Trabajo preliminar de gabinete**

La primera etapa consiste en trabajo preliminar de gabinete donde se recopila y revisa toda la información bibliográfica: estudios previos, revisión de geología regional del cuadrángulo de Santiago de Chuco, boletines especiales, trabajos geológicos previos de la zona, etc. Revisar la información estructural para determinar alguna tendencia de las vetas y ver si siguen algún lineamiento. Información metalogénica, en que franja está ubicada desde el punto de vista genético.

### **Trabajo de campo**

La segunda etapa se realiza en campo dividido en dos partes, La primera con una duración de 4 días, del martes 14 al viernes 17 del mes de enero del 2020, periodo en el cual se lleva a cabo:

- Reconocimiento geológico del área de estudio.
- Levantamiento topográfico de la galería donde aflora la veta Milagros, detallando minuciosamente la composición mineralógica de roca caja, secuencia de la veta.
- Toma de especímenes de manera aleatoria de la veta Milagros de algunas venillas y roca de caja fresca y alterada a lo largo de la galería, para la caracterización mineralógica.
- Selección y codificación de muestras de mano para las descripciones macroscópicas.
- Mapeo geológico de la principal estructura mineralizada.

La segunda parte se realiza después de analizar las muestras de mano en el laboratorio con la finalidad de identificar los puntos óptimos para la obtención de los compósitos para las pruebas de flotación en base a geoquímica, texturas y leyes de los especímenes tomados en la primera parte. (Ver Anexo N°02).

### **Trabajo de laboratorio.**

La tercera etapa se realiza en el gabinete y laboratorio Sampling OK, comprende ejercicios para la caracterización mineralógica de acuerdo con los siguientes pasos:

- Descripción macroscópica de las muestras; identificación de minerales.
- Preparado de inmersión de algunos carbonatos y feldespatos.
- Preparación de secciones pulimentadas: secciones delgadas, pulidas, y secciones delgado-pulidas.
- Análisis químico por Au con ensayo al fuego de 50gr. (Au-FAA).
- Análisis de microscópico Óptico.
- Selección y codificación de muestras para la descripción a nivel micrométrico vía microscopia Electrónica de Barrido.
- Análisis microscópico electrónico SEM (barrido) y EDS (micro-químico) de muestras seleccionadas de la veta Milagros.

### **Trabajos finales de gabinete**

La cuarta y última etapa consiste en un trabajo final de gabinete donde se logró compilar y análisis de toda la información química relacionada con la mineralogía de la zona.

- Compilación y análisis de toda la información relacionada con la mineralogía de la zona.
- Compilación y análisis de la caracterización mineralógica.

- Análisis de la viabilidad geometalúrgica de las menas de la veta principal.
- Determinación de los minerales y fases críticas y portadores de elementos indeseables en la veta.
- Definición de la estrategia y procedimientos óptimos para el beneficio metalúrgico de la veta principal.
- Pruebas metalúrgicas preliminares de flotación.

La culminación del trabajo ha involucrado la interpretación de resultados y la redacción de la tesis empleando toda la información obtenida.

Tabla N°6:

*Materiales y Métodos*

| OBJETIVOS   |  | MÉTODO  | MATERIAL                                       |
|---|--|---|--|
| <i>Compilar información geoquímica sobre los elementos económicos y posibles elementos penalizables registrados para la veta Milagros.</i>  | Análisis Químico Multi-elemental   | Ensayo al fuego con terminación de absorción atómica. Determinación de Au por retalla. Absorción atómica - Digestión Multiácida | Espectrómetro Software Excel                   |
| <i>Identificar los principales minerales mena y relacionarlos a los elementos económicos registrados.</i>   | Herramientas para descripciones macroscópicas                                  | Determinación sistemática de Minerales  | Lupa, Rayador, bizcocho, ácidos estereoscopio. |
| <i>Definir la relación que existe entre los minerales de mena y ganga.</i>  | Microscopía óptica   | Sd/p=sección delgada/pulidas<br>Sd=sección delgada  | Microscopio óptico.<br>Software                |
| <i>Identificar la ocurrencia de minerales portadores de elementos penalizables o contaminantes y recomendar posibles artificios metalúrgicos para minimizar los problemas que producen.</i> | Herramientas para determinación sistemática de minerales translucidos y opacos | Tabla de Michell Levy. Determination tables for ore microscopy - Schouten.  | Microscopio óptico<br>Software                 |
| <i>Determinar la respuesta del mineral al proceso metalúrgico.</i>  |  | Flotación   | Pruebas para flotación                         |
| <i>Predecir posibles problemas que se podrían presentar por la ocurrencia de intercrecimientos complejos entre menas y gangas.</i>  |  |   |  |

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.4. Procedimiento

Se realizó una serie de pasos para lograr los objetivos planteados, a continuación:

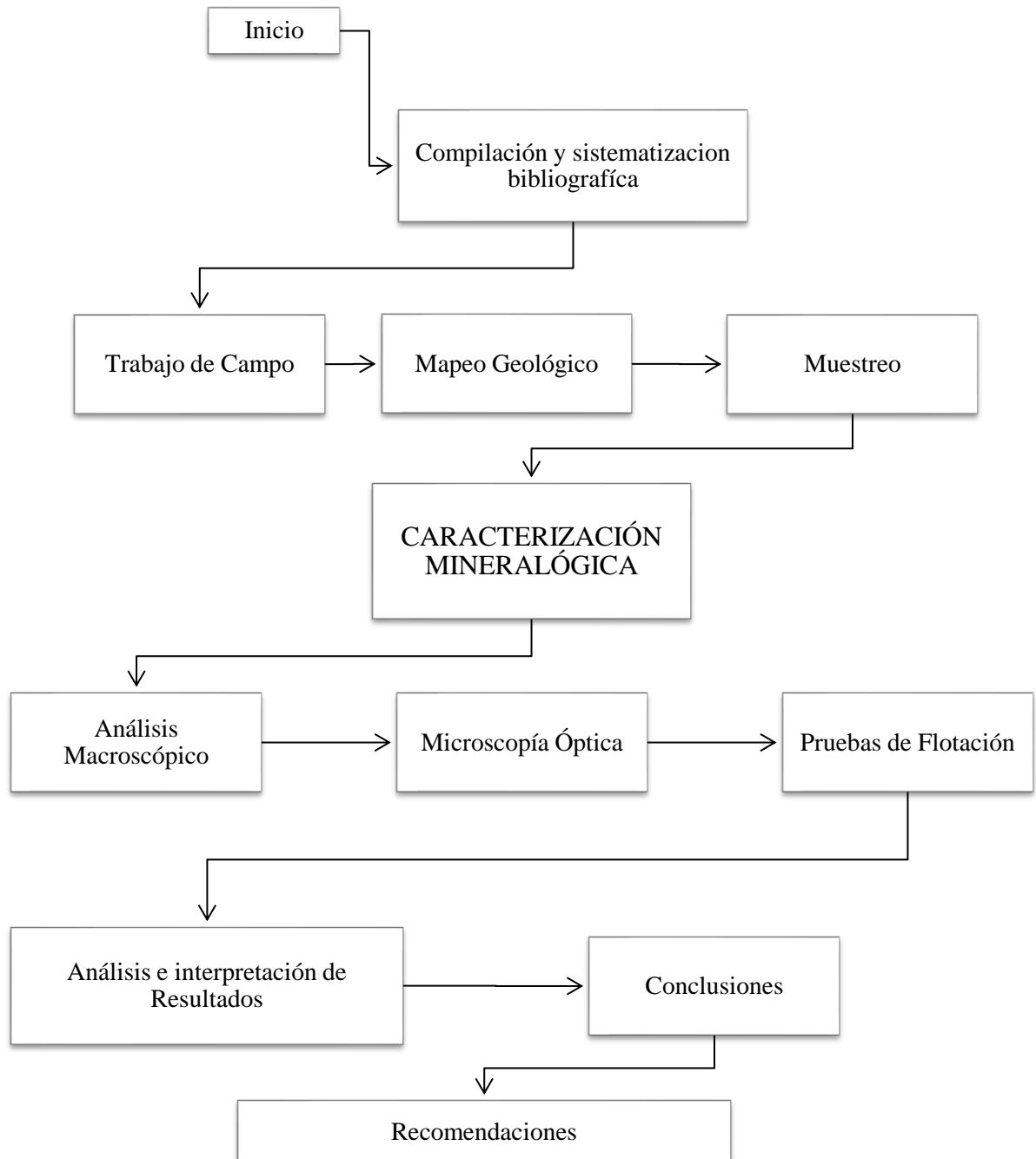


Figura N° 1: Flujo de la secuencia del procedimiento.

## **2.4.1 Procedimientos en Gabinete**

### **Revisión bibliográfica de la mineralización de la zona de estudio**

Se realizó la investigación bibliográfica del tema, que consiste en analizar los diversos estudios y trabajos similares efectuados en la región, los cuales proporcionan una información importante para caracterizar el objeto de estudio, se ha identificado zonas aledañas con alto potencial mineralógico, eligiéndose a la Veta Milagro como objeto de estudio debido a que no existe ninguna información de esta actualmente.

A partir de la información existente se determinó el conjunto de métodos de investigación a aplicar.

### **Diseño de mapas y planos**

Para poder determinar los accesos a la zona de estudio, y tener una idea global del tipo de geología presente, se empleó el software ArcGis para crear un mapa, plano Geológico Regional con los datos del INGEMMET. Se realizó un plano 1/500 para realizar un adecuado mapeo, los cuales ayudaron mucho al momento de recolectar información en Campo.

### **Definir el método de muestreo.**

Según Canchaya (2010), el muestreo es la fase más importante de todo proyecto, por ser la fase inicial de toda estimación repercute en todas las actividades subsecuentes. De nada vale el uso de equipos sofisticados durante el análisis químico, ni de herramientas sofisticadas durante la estimación de recursos si no están controlados los errores, sobre todo durante el Muestreo Primario, que son los más importantes y gravitantes.

De acuerdo con lo mencionado, el muestreo permite recoger material representativo del cuerpo mineralizado para determinar la cantidad de minerales y su valor respectivo, por lo que el muestreo debe ser preciso y realizado con mucho cuidado, la forma en que se toma estos elementos debe garantizar la obtención de resultados planificados. El muestreo viene a ser la etapa más importante del proceso extractivo pues solo en base a las leyes se puede determinar más si la explotación es rentable o no. (Quispe, 2015)

Los métodos de muestreo pueden variar de acuerdo con las etapas del proyecto, objetivos, las características propias del tipo de yacimiento teniendo en cuenta la forma, extensión accesibilidad entre otros.

Tabla N° 7

*Métodos de muestreo.*

| Nivel de exploración             | Grado de información | Tipos de muestreo                       | Objetivos   |
|----------------------------------|----------------------|---|---|
| <b>1. Aproximación</b>           | Nulo a muy bajo      | Geológico no sistemático                | Reconocimiento preliminar   |
| <b>2. Targets</b>                | Bajo                 | Sistemáticos geoquímicos geológicos     | Determinación anomalías   |
| <b>3. Prospecto</b>              | Bajo a moderado      | Geológico sistemático zanjas, canaletas | Determinar existencia de recursos                                     |
| <b>4. Pre-Proyecto</b>           | Avanzado             | Canaleta sond. DDH                      | Extensión de la mineralización y potencial del área.                  |
| <b>5. Proyecto En Desarrollo</b> | Avanzado             | DDH, RC, túneles                        | Geometría y continuidad de los cuerpos de mineral. Control de la mena |
| <b>6. Evaluación</b>             | Muy avanzado         | RC, túneles                             | Ubicación y evaluación de reservas. tipo de menas                     |

*Fuente:* Modificado de Lambert 2016

Según lo mencionado anteriormente, para este proyecto se determinó un Muestreo Aleatorio (No Sistemático). Este método de muestreo se define como aquel realizado en forma irregular y dirigido a aquellos sectores que presenten características favorables, su uso principal se restringe a los niveles iniciales de exploración, donde



tiene por finalidad obtener una base de datos suficiente como para poner el área en una escala de prioridades. Los tipos de muestras más usados en los muestreos no sistemáticos son: “chips sample”, “chips channel”, “rock sample” y “grab sample” (Lambert, 2016), para este estudio se extrajó muestras de aquellos sectores donde la veta se ensancha y se observa una mineralización completa con aparentemente mejor ley mayor porcentaje de sulfuros.

Canchaya (2010), menciona algunos conceptos con respecto a la **Muestra (M)**, a la cual describe como una parte o porción representativa de un población o dominio; resultado de un procedimiento de muestreo equiprobable: “cuando todos los componentes tienen la misma probabilidad de ser elegidos”. Y refiriéndose a **Espécimen (E)**: cuando el muestreo no cumple la condición de equiprobabilidad, ni respeta la teoría del muestreo.

**Incremento:** Grupo de partículas extraídas de un lote en una sola operación.

**Muestra:** Reunión de varios incrementos correctamente extraídos

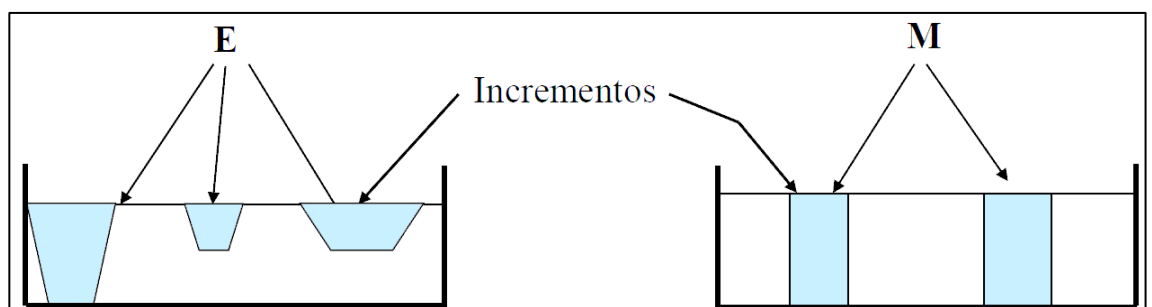


Figura N° 2: Descripción de muestra e incremento, tomado de Canchaya (2019).

### Muestreo de “Rock Chips”

Métodos de muestreo donde los incrementos son chips:

1. *Muestreo de canales:* Este método se usa para muestreo de estructuras tabulares como mantos, crestones y cuerpos elongados, o vetas, es el de más uso para la

estimación de reservas. El método consiste en extraer muestras en canales rectangulares previamente marcados en el terreno en forma transversal al rumbo de las estructuras tabulares o cuerpos elongados a intervalos regulares.

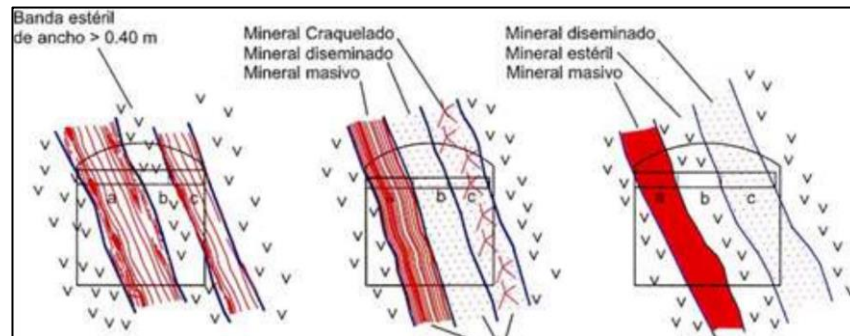


Figura N° 3: Tipos de Muestreo por canales. Tomado de Lambert 2016.

#### 2.4.2 Procedimientos en Campo

En la presente investigación se empleó el método de muestreo de Rock Chips para extraer incrementos, tal como se había diseñado en la etapa de gabinete, se realizó casi en su totalidad en la zona donde aflora la Veta Milagros, donde se tomaron 20 muestras estratégicamente distribuidos, y 01 espécimen del afloramiento donde se emplaza la veta Milagros, quiero decir del Cerro Santa Rosa. Con estos 21 especímenes, en adelante lo llamaremos MUESTRAS se realizó toda la caracterización de la Veta Milagros. (Ver Anexo N°02).

#### Reconocimiento de la zona donde aflora la Veta Milagros

Se determinó la extensión del área de estudio, ubicación de la Veta Milagros, accesibilidad a la galería, se describió todos los afloramientos observados en campo. Concluyendo que existe una buena correlación entre las observaciones de intrusivos de la base de datos del INGEMMET con las observaciones de campo.



*Figura N° 4: Foto con vista al SE, reconocimiento de la zona donde aflora la Veta Milagros*

#### **Levantamiento topográfico de la galería:**

Con el apoyo de la ficha para el levantamiento topográfico mostrada en el ítem 2.3.0, se tomó los datos en campo: como el rumbo, la longitud, el alto, el ancho, entre otros detalles de la galería, la cortada y la veta con brújula, wincha y flexómetro, teniendo como base topográfica las curvas de nivel en un plano con escala 1/500; para plotear en AutoCad todos estos datos y tener una visión más realista de donde y como aflora la veta.

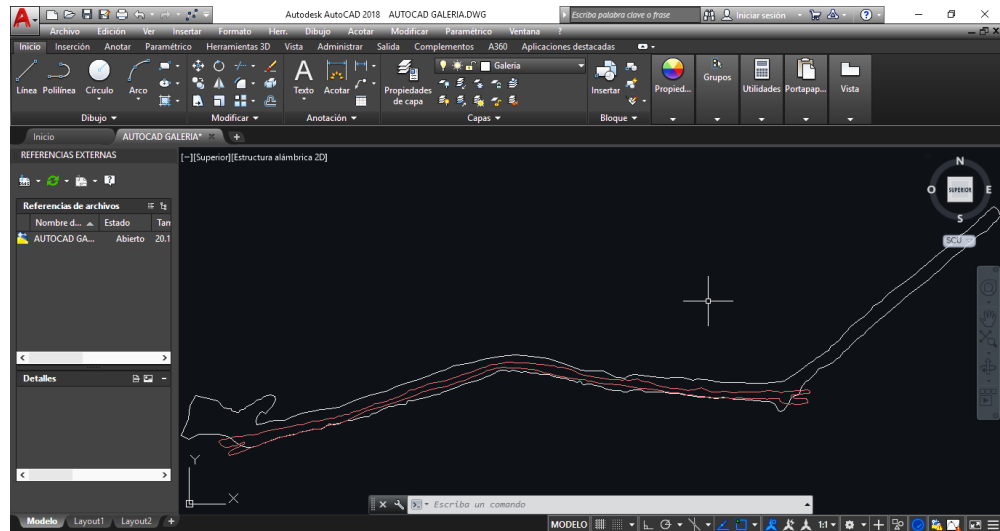


Figura N° 5: Levantamiento topográfico de la galería ploteado en AutoCad con los datos obtenidos en campo.

### Mapeo geológico subterráneo

Se mapeo algunas alteraciones, después de realizar el levantamiento topográfico, ya que gracias a ello se identificó y marco los puntos de muestreo. También se tuvo en cuenta la accesibilidad y sobre todo la seguridad de cada integrante del equipo.

Para realizar el cartografiado Geológico en la galería, se ha usado como base topográfica el plano de levantamiento topográficos efectuado con brújulas, flexómetro y wincha. El mapeo se realiza en el frente de mineral, a la altura del pecho a una escala de 1:500 la cual es la más apropiada para este estudio.

En un formato A4 debidamente adherido al porta planos se debe registrar toda la información geológica, teniendo en cuenta los rasgos estructurales (fallas, brechamientos, estratificación, juntas, etc.) Estructuras mineralizadas. Alteraciones de las cajas (indicando grado de alteración), diseminación de minerales, litología y contactos. Se debe indicar los rumbos y buzamientos de las estructuras.



Finalmente, toda la información geológica obtenida en campo en el formato A4 se transfiere, en gabinete, a planos estándares los cuales sirven para las interpretaciones, comparaciones, deducciones, etc.



*Figura N° 6: Mapeo geológico subterráneo.*

### **Toma de especímenes, selección y codificación.**

El muestreo viene a ser la etapa más importante en cualquier proceso de exploración y explotación. Si el muestreo es correcto se tendrá resultados reales mientras que si se realizan muestreos errados simplemente las leyes se pueden diluir y no mostrar sus verdaderos valores. De acuerdo con lo establecido en el trabajo de gabinete y con ayuda de la ficha para el muestreo, se ha tomado coordenadas, fotos, y datos importantes en cada punto del muestreo, los especímenes se extrajeron de manera aleatoria de la veta Milagros de algunas venillas y de roca caja fresca y alterada a lo largo de la galería, para que la caracterización mineralógica se dé de la mejor manera. La recolección de datos se realizó siguiendo algunos parámetros sobre todo de

seguridad para mantener la integridad y evitar los accidentes de cada integrante del equipo, también se tuvo en cuenta la accesibilidad y el clima.

**Marcado:** Antes de iniciar el muestreo es necesario marcar los puntos de muestreo, los límites del área por limpiarse, o el contorno de los puntos donde se va a muestrear. También se marcará en lugar visible el número de muestra.



*Figura N° 7: Marcado de los puntos de muestreo*

**Limpieza:** Es recomendable y fundamental limpiar superficialmente el área mayor marcada a fin de evitar contaminación.

**Extracción de la muestra:** Consiste en extraer la muestra en fragmentos, polvo, astillas o partículas de mineral con la punta o picota, recepcionando en el saco. Para la extracción de muestras y toma de especímenes se realizó un plano a escala 1/500 en el cual sirve para plotear los puntos de muestreo de manera sucesiva a lo largo de la Veta. El muestreo se realizó en 11 puntos, obteniendo un total de 21 muestras, de las cuales 06 fueron destinadas al laboratorio para los

análisis químicos y 02 para pruebas metalúrgicas y las 13 muestras restantes nos ayudaron a realizar los estudios microscópicos bajo el microscopio óptico.



*Figura N° 8: Extracción de las muestras*

- Se muestreo el techo de la galería, donde aflora la veta siguiendo la sinuosa longitud de esta, se muestreo en las paredes de la galería para obtener muestras de la roca encajonante (muestras VM-02 y VM-08).
- Para recolectar las muestras para análisis químico se tomaron entre 5 a 7 kg por muestra de cada punto marcado, en total fueron 06 muestras a las que se realizó análisis químico: AQ-VM-02, AQ-VM-04, AQ-VM-06, AQ-VM-07, AQ-VM-09, AQ-VM-10. Se extrajo las muestras ayudándose de la técnica de muestreo Rock chip.
- Al momento de extraer las muestras para flotación se extrajo de las zonas donde las veta Milagros presentaba ensanchamiento y se apreciaba mayor porcentaje de sulfuros, se extrajo dos muestras de 20 y 29 kg para las pruebas de flotación de los puntos P-06 y P-10 respectivamente, que se codificaron como FVM-06, FVM-10.

Tabla N° 8

*Registro de muestreo y toma de especímenes*

| N° | CODIGO   | ESTE      | NORTE      | PESO    | DESCRIPCIÓN                                     |
|----|----------|-----------|------------|---------|---|
| 01 | VM-01    | 816478.20 | 9083085.32 | -       | Muestra de mano del intrusivo de la galería.    |
| 02 | VM-02A   | 816480.84 | 9083087.00 | -       | Muestra de mano alteración de la Roca Caja      |
| 03 | VM-02B   | 816482.84 | 9083088.33 | -       | Muestra de la mano de veta milagros             |
| 04 | AQ-VM-02 | 816480.84 | 9083089.00 | 3.40Kg  | Muestra de la veta para análisis químico        |
| 05 | VM-03    | 816494.93 | 9083090.17 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 06 | VM-04    | 816542.21 | 9083090.23 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 07 | AQ-VM-04 | 816541.98 | 9083091.58 | 5.00Kg  | Muestra de la veta para análisis químico        |
| 08 | VM-05    | 816501.29 | 9083092.19 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 09 | VM-06A   | 816528.09 | 9083092.58 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 10 | VM-06B   | 816530.28 | 9083092.00 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 11 | FVM-06   | 816529.23 | 9083092.78 | 20.00Kg | Muestra de la veta para prueba de flotación     |
| 12 | AQ-VM-06 | 816531.18 | 9083092.58 | 5.00Kg  | Muestra de la veta para análisis químico        |
| 13 | VM-07    | 816565.93 | 9083093.29 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 14 | AQ-VM-07 | 816567.25 | 9083093.18 | 5.00Kg  | Muestra de la veta para análisis químico        |
| 15 | VM-08    | 816508.61 | 9083094.45 | -       | Muestra de mano alteración de la Roca Caja      |
| 16 | VM-09    | 816511.06 | 9083095.01 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 17 | AQ-VM-09 | 816510.70 | 9083095.01 | 5.00Kg  | Muestra de la veta para análisis químico        |
| 18 | VM-10    | 816445.85 | 9083099.98 | -       | Muestra de mano de la veta milagros             |
| 19 | FVM-10   | 816446.12 | 9083100.00 | 29.10Kg | Muestra de la veta para prueba de flotación     |
| 20 | AQ-VM-10 | 816445.52 | 9083100.01 | 4.50Kg  | Muestra de la veta para análisis químico        |
| 21 | VM-11    | 816478.20 | 9083085.32 | -       | Muestra de mano del intrusivo del C° Santa Rosa |

*Fuente:* Elaboración Propia

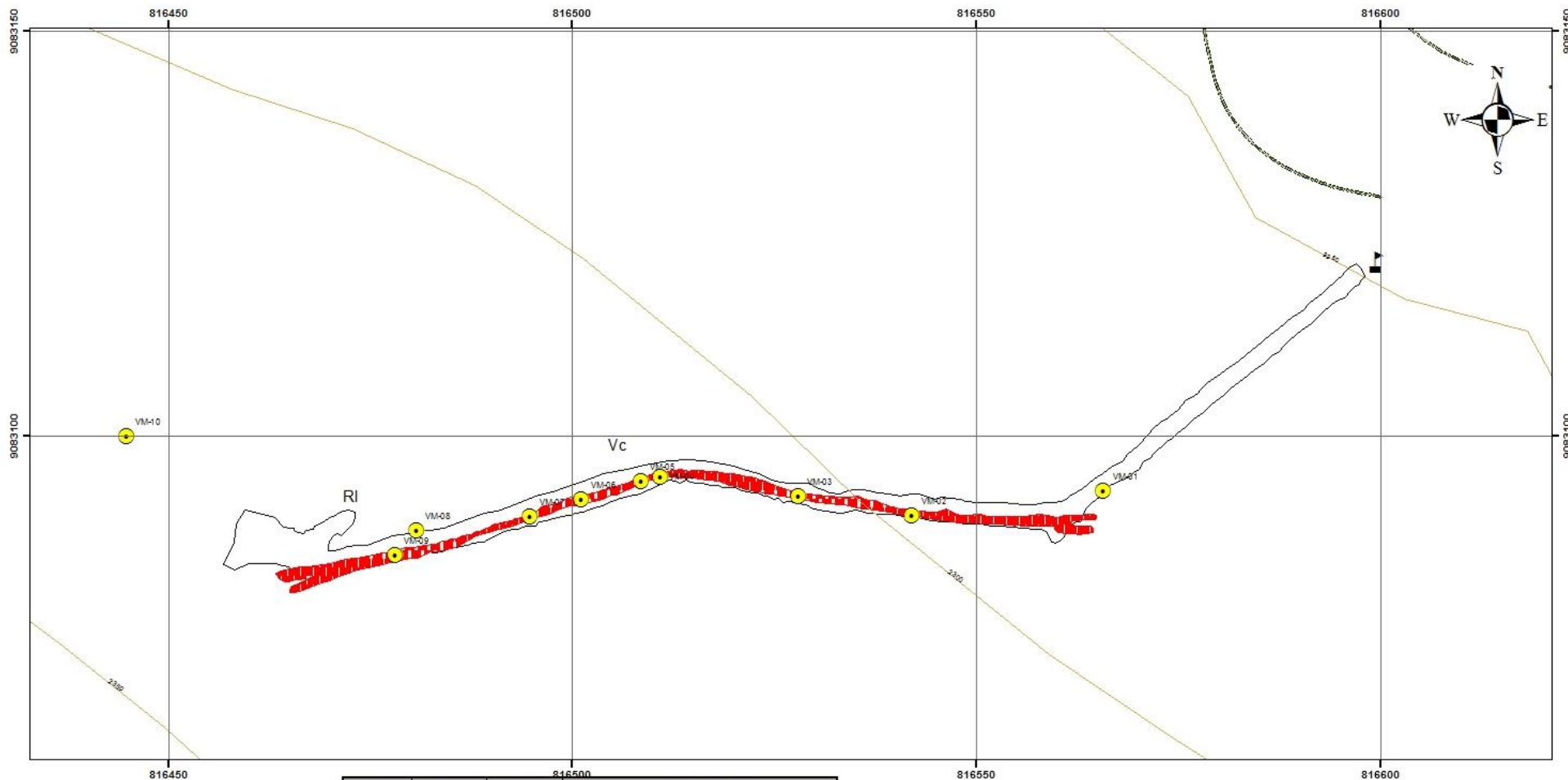
Todas estas muestras van a servir para determinar la litología y ensambles, así como para analizar y determinar tipos, porcentaje y cantidad de minerales que se encuentran en la zona, para permitir posteriormente definir una evaluación de la zona explotada.

**Codificación de la muestra:** Después de haber introducido la muestra en la bolsa, antes de iniciar la extracción de otra muestra, se rellena la tarjeta con el código de cada muestra de acuerdo con lo que corresponde, se coloca y amarra en el cuello de la bolsa, es importante no introducir la etiqueta dentro de la bolsa a fin de evitar su deterioro.

**Plano de muestreo:** es fundamental levantar y preparar un plano de muestreo, con la finalidad de precisar con exactitud la ubicación de los puntos de muestreo, posición de cada una de las muestras, rumbo de la galería, azimut de la veta, entre otros datos que se crea importante.



PLANO DE MUESTREO



| LEYENDA |              |
|---------|--------------|
|         | BOCA MINA    |
|         | Muestras     |
|         | Carretera VM |
|         | Veta         |
|         | Galería      |

| CODIGO | ESTE      | NORTE     | COMENTARIOS                            |
|--------|-----------|-----------|--|
| VM-01  | 816478.2  | 9083085.3 | Muestra de la roca caja en la galería. |
| VM-02A | 816480.84 | 9083088.3 | Muestra de alteracion de la Roca Caja  |
| VM-02B | 816480.84 | 9083088.3 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-03  | 816494.93 | 9083090.2 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-04  | 816542.21 | 9083090.2 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-05  | 816501.29 | 9083092.2 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-06A | 816528.09 | 9083092.6 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-06B | 816528.09 | 9083092.6 | Composito para prueba de flotación.    |
| VM-07  | 816565.93 | 9083093.3 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-08  | 816508.61 | 9083094.5 | Intrusivo de la galería.               |
| VM-09  | 816511.06 | 9083095   | Muestra de la veta milagros            |
| VM-10  | 816445    | 9083100   | Composito para prueba de flotación.    |



|            | UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE |
|------------|-------------------------------|
|            | FACULTAD DE INGENIERÍA        |
|            | INGENIERÍA GEOLÓGICA          |
| PLANO:     | PLANO DE MUESTREO             |
| BACHILLER: | MERLY GISELA MORALES MALCA    |
| ASESOR:    | KARIN DÁVALOS FLORES          |
| ESCALA:    | 1/500                         |
| SISTEMA:   | WGS 84                        |
| ZONA:      | 17 S                          |
| FECHA:     | Ene-20                        |

Figura N° 9: Plano de Muestreo

### **2.4.3 Procedimientos en Laboratorio**

Después de haber realizado todos los procedimientos en campo y obtener 21 muestras que nos permitirán analizar los minerales de mena y ganga, así como la identificación de minerales portadores de elementos económicos como Ag, Au, y elementos penalizables como As y Sb, para lograr una óptima caracterización mineralógica se realizaron estudios tanto microscópicos como el análisis químico cuantitativo de las muestras de la Veta Milagros para analizar las leyes, y pruebas metalúrgicas con la finalidad de ver la respuesta de estos minerales ante procesos metalúrgicos (Flotación).

De las 21 muestras extraídas en campo, se seleccionaron 06 muestras representativas a las cuales se hizo el análisis químico cuantitativo, 02 fueron obtenidas para realizar las pruebas de flotación y 13 muestras de mano para realizar los estudios petromineralógico. Los procedimientos se detallan a continuación de acuerdo con cada objetivo y etapa:

#### **2.4.3.1. Procedimientos para Análisis macroscópicos**

La descripción petrográfica macroscópica, se basa en la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación, bajo la lupa y/o utilizando un estereoscopio, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose en las observaciones acerca del origen de esta.



*Figura N° 10:* Análisis textural y composición mineralógica, utilizando un estereoscopio.

## **I. Descripción macroscópica**

El primer paso para desarrollar una caracterización mineralógica es el reconocimiento macroscópico de las muestras de mano, esto puede verse facilitado en gran medida por diversas técnicas que apoyan a realizar una buena caracterización de minerales y rocas, por ejemplo, a través de técnicas como la tinción de feldespatos se determina la presencia y porcentaje de minerales que no se pueden distinguir a simple vista en una determinada muestra. Para una óptima descripción macroscópica se analizó las siguientes propiedades:



Figura N° 11: Muestras para análisis textural y composición mineralógica

## Descripción de Minerales

Para caracterizar los minerales, se necesitan describir las siguientes características:

Tabla N° 9

*Propiedades para descripciones mineralógicas.*

| <b>Mineralogía</b>         |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Color:</b> se determina a simple vista o con ayuda de una lupa.  |
| <b>Propiedades ópticas</b> | <b>Raya:</b> es el color que muestra el polvo del mineral cuando se raya sobre una superficie más dura; comúnmente se usa una porcelana.  |
|                            | <b>Transparencia:</b> propiedad de los minerales para dejar atravesar la luz; se determina a simple vista.  |
|                            | <b>Brillo:</b> es la intensidad de luz que refleja la superficie de un mineral; se determina visualmente.   |
|                            | <b>Clivaje:</b> son planos de fractura sistemáticos que caracterizan a un mineral; pueden ser irregulares (ninguna dirección) a tener clivajes en una o más direcciones. El clivaje se determina visualmente con ayuda de una lupa. |
| <b>Propiedades físicas</b> | <b>Gravedad específica:</b> es la cantidad de masa que tiene un mineral por volumen; se puede hacer una estimación relativa pesándola con las manos.  |
|                            | <b>Tenacidad:</b> la resistencia que tiene un mineral a fracturarse; se determina con ayuda de un martillo.   |
|                            | <b>Sabor:</b> se usa comúnmente para identificar algunos haluros; se determina con la lengua.   |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
|                             | <p><b>Magnetismo:</b> es la capacidad que tiene un mineral para atraer sustancias ferromagnéticas; se determina con un imán.</p> <p><b>Dureza:</b> es la resistencia que tiene un mineral a ser rayado por otro; la dureza de un mineral se clasifica de acuerdo con la escala de Mohs. Para determinar la dureza de un mineral se utiliza la dureza se utilizan lápices de dureza, monedas, navajas, vidrios, terminar la dureza se utilizan lápices de dureza, monedas, navajas, vidrios, u otros minerales de dureza conocida u otros minerales de dureza conocida.</p> <p><b>Estructura cristalina:</b> son las disposiciones geométricas que presentan los cristales de un mineral; dependiendo del tamaño de cristal pueden ser observables a simple vista (macroscópico), con lupa (microscópico) o no visibles (submicroscópico).</p> <p><b>Fluorescencia:</b> capacidad que tiene un mineral para emitir luz al absorber radiación electromagnética de forma artificial; se determina comúnmente en laboratorio.</p> <p><b>Radioactividad:</b> propiedad que tiene un mineral para emitir radiación electromagnética de forma natural; se determina con ayuda de un contador Geiger.</p> <p><b>Piezoelectricidad:</b> propiedad de un mineral para acumular carga eléctrica al aplicarse presión mecánica; se determina en laboratorio.</p> |
| <b>Propiedades químicas</b> | <p><b>Reacción al ácido:</b> algunos minerales reaccionan rápidamente frente a algunos ácidos (nitrato, clorhídrico, etc).</p> <p><b>Solubilidad:</b> algunos minerales son solubles en agua o en soluciones ácidas/básicas.</p> <p><b>Color de la llama:</b> es el color que adquiere la llama de un mechero al quemar un mineral, por lo general se usa previamente un ácido para que reaccione con el mineral.</p>  |
|                             | <p><b>Reacción al ácido:</b> algunos minerales reaccionan rápidamente frente a algunos ácidos (nitrato, clorhídrico, etc).</p> <p><b>Solubilidad:</b> algunos minerales son solubles en agua o en soluciones ácidas/básicas.</p> <p><b>Color de la llama:</b> es el color que adquiere la llama de un mechero al quemar un mineral, por lo general se usa previamente un ácido para que reaccione con el mineral.</p>  |
|                             | <p><b>Reacción al ácido:</b> algunos minerales reaccionan rápidamente frente a algunos ácidos (nitrato, clorhídrico, etc).</p> <p><b>Solubilidad:</b> algunos minerales son solubles en agua o en soluciones ácidas/básicas.</p> <p><b>Color de la llama:</b> es el color que adquiere la llama de un mechero al quemar un mineral, por lo general se usa previamente un ácido para que reaccione con el mineral.</p>  |
|                             | <p><b>Reacción al ácido:</b> algunos minerales reaccionan rápidamente frente a algunos ácidos (nitrato, clorhídrico, etc).</p> <p><b>Solubilidad:</b> algunos minerales son solubles en agua o en soluciones ácidas/básicas.</p> <p><b>Color de la llama:</b> es el color que adquiere la llama de un mechero al quemar un mineral, por lo general se usa previamente un ácido para que reaccione con el mineral.</p>  |

Fuente: Elaboración Propia

## Descripción de las rocas

Para caracterizar una roca de manera adecuada, sería de gran ayuda describir las siguientes características:

Tabla N° 10

### Descripciones petrográficas

| PETROLOGÍA                      |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Textura</b>                  | Grado de cristalinidad de los granos minerales.  |
|                                 | Tamaño y forma de los granos minerales.  |
|                                 | Relaciones geométricas entre granos minerales.   |
| <b>Estructura</b>               | La textura es reconocible a simple vista o con ayuda de lupa o microscopio óptico. se refiere a la orientación espacial y disposición geométrica, generalmente repetitiva. |
|                                 | La estructura varía de acuerdo con la escala de observación de la roca; se puede reconocer a simple vista o con ayuda de lupa o microscopio óptico.                        |
| <b>Composición mineralógica</b> | es la identificación de los tipos de minerales y su estimación cuantitativa (generalmente en porcentaje). Se determina con ayuda de lupa o microscopio óptico.             |

Fuente: Elaboración Propia

La identificación petrográfica macroscópica de rocas se basa en seguir un proceso sistemático de identificación, basada en las propiedades específica descritas anteriormente que esta posee.

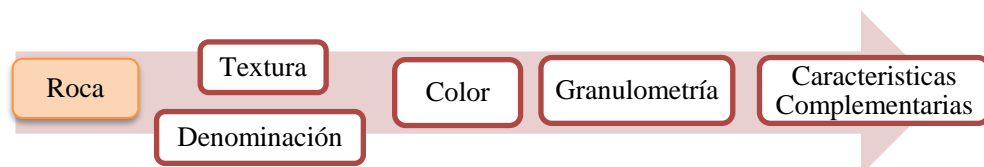
Canchaya (2001), propone las siguientes normas para la descripción macroscópica que se deben tener en consideración:

Tabla N° 11

*Normas para la descripción macroscópica.*

| <b>NORMAS PARA LA DESCRIPCION MACROSCOPICA</b> |  |
|--|--|
| <b>1</b>                                       | Debe ser lo más descriptiva posible.   |
| <b>2</b>                                       | Se debe evitar en lo posible cualquier interpretación, sobre todo genética.  |
| <b>3</b>                                       | Debe ser de lo general a lo particular.  |
| <b>4</b>                                       | Para la denominación de color se debe seguir la siguiente secuencia. <ul style="list-style-type: none"> <li>I. Indicar el color principal (o dominante) y su calificación (opcional)</li> <li>II. Indicar intensidad o tonalidad del color principal.</li> <li>III. Indicar el color complementario como objetivo.</li> <li>IV. Finalmente, la calificación del color complementario.</li> </ul> |
| <b>5</b>                                       | Indicar la granulométrica, tamaños de fragmentos o fenos, usando referencias métricas: submilimétrico, milimétrico, centimétrico, decimétrico, etc.  |
| <b>6</b>                                       | Si la roca presenta textura porfirítica o brechosa <ul style="list-style-type: none"> <li>I. Describir fenos o clastos.</li> <li>II. Describir matriz.</li> </ul>  |
| <b>7</b>                                       | Si la muestra contiene dos tipos de roca, describir por separado. <ul style="list-style-type: none"> <li>I. La más abundante o la roca anfitriona</li> <li>II. La menos abundante o la huésped.</li> </ul>   |
| <b>8</b>                                       | Si la muestra contiene componentes diferenciales, describirlos por separado. <ul style="list-style-type: none"> <li>I. Describir la roca porfirítica (Fenos, matriz)</li> <li>II. Describir cada generación de venillas (de la más antigua a la más moderna)</li> </ul>  |

*Fuente:* Canchaya, 2001.



*Figura N° 12:* Secuencia general de la descripción. Canchaya, 2001.



## II. Tinción de Feldespatos Potásicos

Métodos diseñados para distinguir entre feldespato alcalino, plagioclasa, cuarzo, cordierita y feldespatoides.

La técnica de tinción consiste en la elaboración de galletas de roca teñidas por una solución saturada de cobaltonitrito de sodio. Esta solución reacciona químicamente con el feldespato potásico, pigmentándolos de un color amarillo patito; además las plagioclasas se tornan blanquecinas y el cuarzo ligeramente liláceo. Con el fin de facilitar y acelerar la reacción, la galleta de roca es sumergida previamente en ácido fluorhídrico por un minuto y medio.



Figura N° 13: Galletas de roca preparada para ser tinción.

El resultado de la reacción se expresa en el cambio de color de los minerales que reaccionaron con la solución; el feldespato potásico se tiñe de color amarillo, las plagioclasas adquieren una tonalidad blanquecina, el cuarzo no es afectado.

Los pasos de preparación para realizar la técnica de tinción son los siguientes:

- Eliminar la porosidad, la superficie plana se pule con abrasivo (tamaño de grano 400) y se seca.

- Preparación de reactivos: Ácido fluorhídrico, concentrado 48% (manipular con precaución, causa quemaduras dolorosas). Solución saturada de cobaltinitrito de sodio en agua destilada.

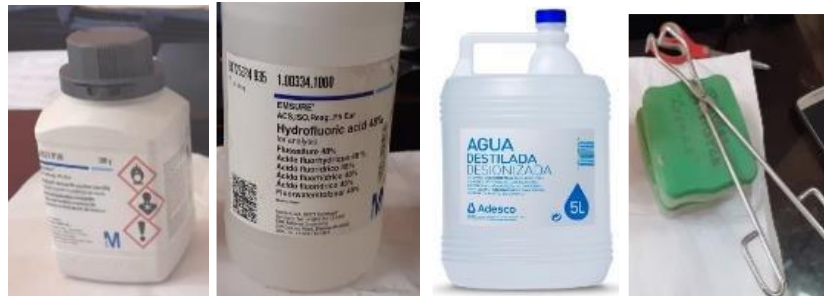


Figura N° 14: Materiales para la tinción de feldespatos.

- Preparación del equipo: 02 recipientes de plástico; con la suficiente capacidad para cubrir las galletas. Un matraz de Erlenmeyer o un vaso acanalado para contener la solución de cobaltinitrito de sodio, finalmente pinzas y varillas tipo mondadientes.
- Se colocan los implementos de seguridad, es decir equipos de protección personal, como respiradores, bata, lentes de seguridad, guantes de neoprene especiales para trabajar con ácidos, zapatos cerrados, etc.



Figura N° 15: Equipos de protección personal utilizados en la tinción de feldespatos.



Los pasos para realizar la técnica de tinción son los siguientes:

Tabla N° 12

*Pasos para realizar tinción de feldespatos potásicos.*

| PASOS  | TIEMPO        | OBSERVACIONES   |
|--|---------------|---|
| En un recipiente limpio y seco colocamos varillas en el fondo, colocamos HF al 48% y sumergimos las secciones, sellamos el recipiente. | 1 min, 30 seg | Llevamos las secciones a un medio ácido para facilitar la tinción |
| Eliminamos el exceso con agua  | 30 seg        | Agua potable  |
| Sumergimos las secciones en la solución saturada de cobaltinitrito de sodio  | 1 min, 30 seg | El K-feldespato torna a un tono amarillo brillante.               |
| Eliminamos el exceso de solución   | 30 seg        | Agua potable  |
| Dejamos secar.   | 1 h a mas     | Resultados de la tinción  |

*Fuente:* Elaboración Propia



*Figura N° 16:* Procedimientos de la tinción de feldespatos potásicos.

El objetivo de la técnica de tinción es el de facilitar la discriminación entre minerales formadores de roca (feldespato potásico, plagioclasas, cuarzo) que serán usados en la clasificación petrográfica de la muestra. Este procedimiento produce un amarillo brillante (K-feldespato) y las plagioclasas claras. El cuarzo permanece prácticamente inalterado, aunque su superficie se torna algo mate debido a la acción del HF (40%). Este ácido es sumamente peligroso, ya que causa lesiones graves en la piel y en los tejidos; incluso cuando uno se expone a sus vapores; por lo que se recomienda tener las precauciones adecuadas. Los resultados se muestran en los anexos. (Ver Anexo N°04).

Finalmente, se debe tener en cuenta que las rocas que encontramos en el campo están generalmente alteradas tanto física como químicamente; también algunas rocas poseen minerales de tamaño invisible para el ojo o la lupa y, por lo tanto, es común realizar estudios de rocas a escala microscópica con ayuda de secciones delgadas /pulidas y un microscopio petrográfico.

#### **2.4.3.2. Procedimientos para Análisis Químico:**

Las 06 muestras seleccionadas para análisis químico cuantitativo fueron enviadas al laboratorio de CERTIMIN, para su respectivo análisis, pero antes de ello se realiza la reducción de la muestra, mediante la ejecución de uno de los métodos más utilizado en la industria, el cuarteo manual tipo japones, de una manera muy cuidadosa.

#### **I. Cuarteo de las muestras**

Se realiza con el objetivo de reducir la masa de las muestras, la cual consiste en homogenizar o mezclar toda la muestra hasta obtener una masa uniforme, sacudiendo en una manta de los 04 extremos, para luego seleccionar solo la masa optima. Los pasos se detallan a continuación:

- Mezclar dentro de la manta el material de la muestra.
- Formar un montículo en forma circular o de contorno circular.
- Trazar diametralmente en 02 sentidos, dos canales perpendiculares.
- Sacar 2 cuadrantes opuestos del material (II-IV)



*Figura N° 17: El método del cuarteo*

- Repetir la operación anterior en los cuadrantes restantes (I -III) hasta obtener un volumen de cada cuadra.
- Con la pala o espátula se retira el material de los cuadrantes opuestos (II – IV), los cuales se repite la misma operación hasta el volumen de la muestra requerida.
- Finalmente empaquetar y sellar las bolsas de las muestras debidamente codificadas, la tarjeta de identificación se coloca y amarra en el cuello de la bolsa.



*Figura N° 18: Cuarteo de la muestra*

Tabla N° 13

*Muestras para análisis químico.*

| N° | CODIGO   | ESTE      | NORTE      | PESO   | DESCRIPCIÓN                              |
|----|----------|-----------|------------|--------|--|
| 01 | AQ-VM-02 | 816480.84 | 9083089.00 | 3.40Kg | Muestra de la veta para análisis químico |
| 02 | AQ-VM-04 | 816541.98 | 9083091.58 | 5.00Kg | Muestra de la veta para análisis químico |
| 03 | AQ-VM-06 | 816531.18 | 9083092.58 | 5.00Kg | Muestra de la veta para análisis químico |
| 04 | AQ-VM-07 | 816567.25 | 9083093.18 | 5.00Kg | Muestra de la veta para análisis químico |
| 05 | AQ-VM-09 | 816510.70 | 9083095.01 | 5.00Kg | Muestra de la veta para análisis químico |
| 06 | AQ-VM-10 | 816445.52 | 9083100.01 | 4.50Kg | Muestra de la veta para análisis químico |

*Fuente:* Elaboración Propia

## II. Remisión al laboratorio

La muestra se envía al laboratorio para su ensayo o análisis, en el menor tiempo posible a fin de evitar su oxidación por la humedad o prevenir su congestión de trabajo por muchas muestras en el laboratorio.



*Figura N° 19:* Muestras para enviar al laboratorio

## III. Análisis en el laboratorio

De las 06 muestras seleccionadas y con la masa optima en el laboratorio de CERTIMIN se analizan seis elementos: oro, plata, plomo, zinc, arsénico y antimonio.

También se realizan análisis de oro de la fracción fina (-#140) y de la fracción gruesa

(+#140). Los métodos más usados para el análisis de Au son el ensayo al fuego y absorción atómica. A continuación, los detalles de todos los análisis químicos:

Tabla N° 14

*Tipos de análisis químico.*

| N° | DESCRIPCIÓN          | DESCRIPCIÓN  |
|----|----------------------|--|
|    | Analítico            | Descripción  |
| 1  | Au                   | Muestras de exploración geoquímica: Análisis de oro por ensayos al fuego-AAs.  |
| 2  | Au + 140 (Ponderado) | Análisis de muestras geoquímicas determinación de oro por retalla. Fracción gruesa.  |
| 3  | Au - 140 (Ponderado) | Análisis de muestras geoquímicas determinación de oro por retalla. Fracción fina.  |
| 4  | Au Total (Ponderado) | Análisis de muestras geoquímicas. Determinación de oro por retalla. Oro total.   |
| 5  | Ag                   | Muestra Tipo Menas: Análisis multielemental por AAS - digestión multiácida (HF, HClO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> y HCl). |
| 6  | Pb                   | Muestra Tipo Menas: Análisis multielemental por AAS - digestión multiácida (HF, HClO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> y HCl). |
| 7  | Zn                   | Muestra Tipo Menas: Análisis multielemental por AAS - digestión multiácida (HF, HClO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> y HCl). |
| 8  | As                   | Muestra Tipo Menas: Análisis multielemental por AAS - digestión multiácida (HF, HClO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> y HCl). |
| 9  | Sb                   | Muestra tipo menas: Análisis multielemental por AAS - digestión multiácida (HF, HClO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> y HCl). |

*Fuente:* Elaboración Propia

Esta etapa está dividida en preparación, digestión y análisis de la muestra.

### 1. Preparación Mecánica de la Muestra:

Antes de cualquier tipo de análisis las muestras pasaron por un proceso de preparación de: Secado a 100 °C, de 5 kg de muestras, chancado a 90 % pasante malla 10# ASTM (2mm), tamizado, cuarteo y pulverizado (250g) a 85% pasante malla 200#ASTM (75um). Finalmente con la fracción fina, se realizó la respectiva digestión de acuerdo al análisis que se necesita.

## 2. Digestión Multiácida (HF, HClO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> y HCl):

En el laboratorio químico, se realizará la digestión con múltiples ácidos utiliza una combinación de HCl (ácido clorhídrico), HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico), HF (ácido fluorhídrico) y HClO<sub>4</sub> (ácido perclórico) para analizar por espectrofotometría de absorción atómica (AAS) elementos como Au, Ag, Pb, Zn, As y Sb. Debido a que el ácido fluorhídrico disuelve los minerales de silicato, estas digestiones a menudo se denominan "digestiones casi totales". Se escogió este método por ser muy eficaz para un gran número de especies minerales y adecuadas para la amplia gama de elementos, y a su vez para llegar a obtener una digestión completa mediante la descomposición de la muestra, evitando la pérdida o contaminación del Au y Ag. Cabe mencionar también que se hizo análisis multielemental por As y Sb; debido a que estas muestras contienen gran porcentaje de minerales de esta composición.

## 3. Análisis de la Muestra:

### Análisis de Au por ensayo al fuego- AAS

Este tipo de análisis fue realizado para las 06 muestras con 50 gramos de masa. Este método consistió en producir una fusión de la muestra usando reactivos y fundentes adecuados para obtener dos fases líquidas:

- Una escoria constituida principalmente por silicatos complejos.
- Una fase metálica constituida por plomo, el cual colecta los metales de interés (Au y Ag); que posteriormente serán sometidos a Análisis Químico o determinación gravimétrica, según condiciones finales de la muestra.

Estas fueron las etapas que se siguieron:

*Proceso De Fundición:* Las muestras pulverizadas fueron pesadas (50 gramos) y trasvasadas a los crisoles de arcilla que contenían los fundentes para mezclarse y



ser llevados a los hornos de fundición a una temperatura de 1050°C, por un tiempo de 50 minutos, para después obtener el régulo y la escoria.

Copelación: Posteriormente los régulos fueron colocados en las copelas de magnesita dentro del horno a una temperatura de 920 °C. Este es un proceso de oxidación donde el 98% de Pb es absorbido por la copela, el resto junto con las impurezas se volatiliza por los ductos del extractor, hasta la torre neutralizadora de gases.

Ataque Químico Del Doré: En esta etapa se realizó el análisis de Au por absorción atómica que consistió en:

- Llevar los botoncitos de doré a los tubos de ensayo de 10ml puestas en sus gradillas.
- Se agregó con el dispersor 1 ml de ácido nítrico QP, a una concentración de 1:1.
- Se llevó a la plancha de ataque químico a temperatura lenta, donde la Ag se disolvió al estado de solución de nitrato de Ag.
- A esta última solución se le añadió 2ml de ácido clorhídrico QP, para formar agua regia que disolverá por completo a botón de Au.
- Luego se llenaron los tubos con agua desionizada a 10 ml. para ser llevadas a la sala de absorción atómica.

#### **Análisis de Au por retalla.**

Este análisis tiene como finalidad determinar de manera cuantitativa el Au por Retalla, es decir; el porcentaje de Au presente en la fracción gruesa, y fina, las

cuales ambas componen el porcentaje de Au total. La determinación de Au por retalla se hizo con 500 gramos de muestra a malla 140 # ASTM (106µm).

Este procedimiento consistió básicamente en someter 500 gramos de la muestra a la malla N°140, cuya apertura es de 106 micrómetros; donde el material que logró pasar esta malla forma parte de la fracción fina y la que quedó encima viene a ser la fracción gruesa; donde ambas constituyen el Au total que viene a ser el Au libre presente en la muestra.

#### **Análisis Multielemental por espectrofotometría de absorción atómica (AAS)**

Este análisis fue realizado para las 06 muestras provenientes de la veta Milagros del Prospecto Granada; donde fueron sometidas primero al proceso de digestión multiácida para luego realizar el análisis en el espectrómetro de absorción atómica (AAS). Se analizaron 05 elementos tipo Menas: Ag, As, Sb, Pb, Zn, los resultados se presentan en la parte de anexos. (Ver Anexo N°03).

#### **4. Control de calidad de los análisis de la Muestra:**

Para obtener un buen resultado se tiene que realizar un óptimo muestreo de campo, el cual es la fase inicial de toda estimación, y este repercute en todas las actividades subsecuentes de allí su importancia.

**Quality Control.** - es el conjunto de actividades o técnicas para monitorear, identificar errores y realizar acciones correctivas durante el muestreo y análisis.

##### **Blancos:**

La inserción del blanco fue realizado por CERTIMIN S.A., en el que solo se insertó 01 muestra blanco de cuarzo, que previamente ha sido sometida a una serie



de análisis químico, esto debido a que no se tienen muchas muestras, para evitar la posible contaminación.

#### Estándares

Se han insertado 03 estándares, para controlar la exactitud y así determinar estándares altos, valores intermedios, valores bajos que se suele tomar como Cut-off, todo el procedimiento estuvo a cargo de la empresa responsable.

#### Duplicados

Se tiene 06 muestras con sus respectivos duplicados, la inserción de duplicados se realiza con la finalidad de controlar la repetividad y reproducibilidad de la toma de muestras en el campo, los valores de los duplicados están dentro del rango de la muestra original, por lo que no se observa ningún error en el análisis químico.

Por lo que se tiene muy pocos datos no se generó ningún error fundamental en las muestras durante el análisis químico que realizó CERTIMIN S.A.

Todos los resultados de control de calidad de las muestras de la veta Milagros se encuentra en el Anexo N°03.

#### **2.4.3.3. Procedimientos para Análisis en Microscopio Óptico:**

Después del análisis macroscópico de las muestras, e identificación de minerales a nivel macroscópico se analizó las muestras bajo el microscopio para obtener mayor detalle. Esta etapa se realiza en el gabinete y laboratorio Sampling OK, comprende los siguientes pasos:

## **I. Preparados de Inmersión**

Este tipo de análisis complementario se realiza de granos transparentes, es usado principalmente cuando se tiene minerales problema que aun en la sección delgada no se pueden reconocer, o en partes de la muestra no comprendidas por la sección delgada. En el presente estudio se realizó el preparado de inmersión de algunos minerales de alteración como arcillas, y minerales que no fueron incluidos en las secciones. Se detalla el procedimiento a seguir a continuación:

- Con la ayuda de un punzón fino extraer polvo del mineral problema llevándolo a un mortero para tritararlo.
- Se tamiza la muestra triturada, de manera que se elijan granos de un diámetro comprendido entre tamices de 120 y 200  $\mu\text{m}$  (0.12 y 0.20mm).
- Una pequeñísima cantidad de estos granos se esparce en el centro del portaobjeto, teniendo mucho cuidado con que no exista apelmamentamiento de los granos, para que se pueda observar cómodamente bajo el microscopio.
- Luego se deposita una o dos gotas de aceite de inmersión de índice de refracción conocido.
- Finalmente colocar el cubreobjeto, oprimiéndolo con suavidad, para que se reparta por igual la muestra en el aceite.

## **II. Preparación de secciones pulimentadas**

Para poder analizar las muestras bajo el microscopio de polarización se requiere de una preparación adecuada de la roca. Esta empieza con una rigurosa selección de la zona que se va a estudiar. El preparado de secciones depende

de la finalidad del estudio; se realiza secciones delgadas si se quiere identificar la petrología de la roca en la cual solo se podrá observar los minerales translucidos o transparentes que por lo general son minerales ganga componentes de las rocas.

#### **A. Sección delgada:**

Cuando el objetivo es estudiar minerales transparentes o translucidos, deberán realizar dos cortes paralelos con una separación de aproximadamente 1 mm, por medio del bálsamo del Canadá se pega una de las superficies a un portaobjetos y la otra se va desgastando y puliendo mediante abrasivos, hasta conseguir un espesor de 30 nm aproximadamente, lo cual se comprueba con la coloración del cuarzo visto entre nicoles cruzados. Finalmente, se superpone una lámina cubreobjetos también con bálsamo del Canadá.

#### **B. Sección delgado/pulida:**

Si se quiere estudiar minerales opacos se preparará una sección pulida. Basado en el concepto de Roca Total, en el presente trabajo se quiere analizar minerales mena y ganga entonces se recomienda una sección integrada: Sección Delgado/Pulida en la que se evalué intercrecimientos de mena y ganga. Se pueden estudiar conjuntamente, tanto de minerales opacos como translúcidos. La ventaja de este método es principalmente que la muestra se estudia conjuntamente (Concepto De Roca Total), que tanto para interpretaciones genéticas, como geometalúrgicas es muy ventajosa, ya que determinando de forma

adecuada los intercrecimientos presentes entre algunas especies minerales que serán condicionantes para el procesamiento de la mena en planta.

La preparación de las secciones delgado-pulidas son similares a las delgadas, se deberán realizar dos cortes paralelos con una separación de aproximadamente 1 mm, pulir una cara y pegarla sobre una lámina porta objeto. Esta lamina se engastará en una briqueta de resina. Luego las muestras se desgastarán sobre superficies de pulido con abrasivos cada vez más finos empezando con corindón sintético o carborundum y culminando con alúminas o, mejor aún, con polvo fino de diamante. Al pasar de un grosor a otro de abrasivo es muy importante lavar bien la preparación, así como la placa y las manos del operante, para evitar restos de granos más gruesos, que dañarían la superficie a pulir.

Finalmente se procede al abrillantamiento de la superficie pulida con una tela de lana o seda para eliminar cualquier patina o impureza provocada por el medio. Se presiona la muestra con la mano de manera uniforme y perpendicular a la placa de vidrio, describiendo una trayectoria en forma de ocho.

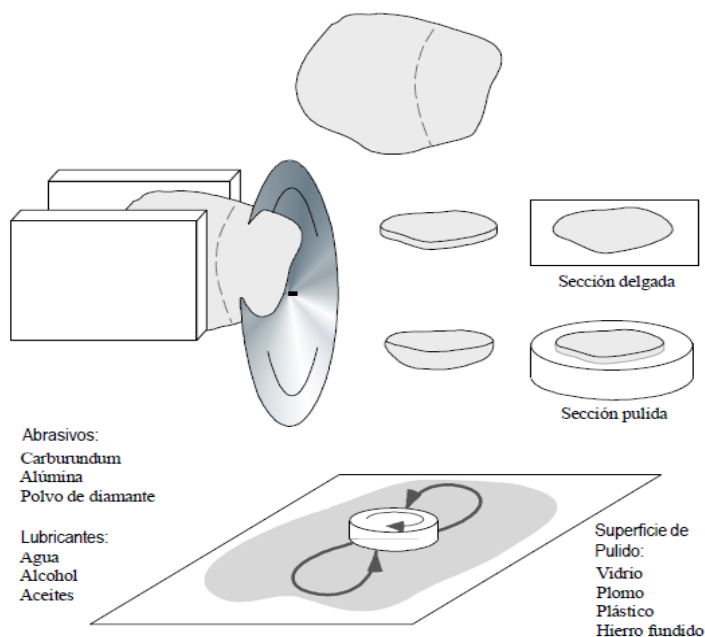


Figura N° 20: Preparación de secciones. Tomado de Chirif 2010

La presente investigación se basa especialmente en el estudio de 13 secciones; 09 secciones delgado/pulida y 04 secciones delgada. cuya procedencia y tipo de estudio realizado se indica a continuación:

Tabla N° 15:

*Secciones y tipo de estudios*

| N° | MUESTRA | PROYECTO         | TIPO DE SECCIÓN | ESTUDIO            |
|----|---------|------------------|-----------------|--------------------|
| 01 | VM-01   | Roca encajonante | Delgada         | Petrográfico       |
| 02 | VM-02A  | Roca encajonante | Delgada         | Petrográfico       |
| 03 | VM-02B  | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 04 | VM-03   | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 05 | VM-04   | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 06 | VM-05   | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 07 | VM-06A  | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 08 | VM-06B  | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 09 | VM-07   | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 10 | VM-08   | Roca encajonante | Delgada         | Petrográfico       |
| 11 | VM-09   | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 12 | VM-10   | Veta Milagros    | Delgado/pulida  | Petrominerográfico |
| 13 | VM-11   | Roca encajonante | Delgada         | Petrográfico       |

Fuente: Elaboración propia

El estudio, observaciones y medida que se realizan posteriormente con las secciones depende del grado y perfección con la que se ha realizado el pulido y preparado. Los datos de esta tesis se han obtenido a partir de muestras óptimamente pulidas. Pues una buena preparación aportara, por tanto, valores más exactos y reales de las observaciones con el microscopio.



Figura N° 21: En la parte superior: secciones delgadas y delgado/pulidas

En minería, los minerales translúcidos representan generalmente un gran porcentaje del volumen de los yacimientos y, además, suelen tener un muy bajo valor económico. Por otra parte, los minerales opacos representan un pequeño porcentaje del yacimiento, pero, sin embargo, tienen el valor económico más alto.

En la naturaleza, los minerales translúcidos y opacos aparecen intercrecidos y combinados de maneras muy simples a muy complejas; es por lo anterior, que el estudio microscópico óptico de los minerales se debe realizar teniendo en cuenta

ambos tipos de minerales (translúcidos y opacos) para este fin se suelen usar secciones delgado-pulidas.

### III. Análisis mineralógico microscópico

Análisis en microscópico Óptico, el equipo empleado para el análisis mineralógico textural fue el equipo ZEISS Primotech, Microscopio Binocular de Polarización conformado por un software ZEISS Matscope, esta es la aplicación de captura de imágenes que le proporcionará todas las funciones de medición.



*Figura N° 22: ZEISS Primotech, Microscopio Binocular de Polarización*

#### 1. Descripción microscópica.

La identificación mineralógica de la veta Milagros fundamentalmente se llevó a cabo mediante los estudios de microscopía óptica.

La microscopía es una herramienta muy importante para la identificación y descripción de rocas cuyas texturas y minerales son difíciles de observar a simple vista.

Según Castroviejo (1998), la interpretación más útil y precisa de la textura de las rocas y los minerales, se obtienen con el microscopio petrográfico (o de

luz transmitida). Se puede extrapolar esta idea también al uso del microscopio con luz reflejada, para el estudio de las texturas presentes en muestras de minerales opacos.

Un microscopio, es un instrumento óptico que, a través del uso de lentes, una fuente iluminadora y otros componentes; permite la observación de objetos muy pequeños, de órdenes milimétricos a micrométricos.

En el estudio de minerales bajo el microscopio, se utilizan dos tipos de iluminaciones, de acuerdo con el tipo de rayo de luz que llega a la muestra:

- Iluminación ortoscópica, que consiste en la emisión de haces de rayos paralelos de luz hacia la muestra.
- Iluminación conoscópica, que consiste en la emisión de haces de rayos convergentes de luz hacia la muestra.

También existen otras dos formas de iluminar a la muestra, de acuerdo con las propiedades de reflexión y refracción de los minerales:

- La iluminación de luz transmitida, que consiste en el paso de luz a través de la muestra; es usado para identificar minerales translúcidos (que permiten el paso de luz, y por ende la refractan).
- La iluminación de luz reflejada, que consiste en la reflexión de luz sobre una cara pulida de la muestra; es usado para identificar minerales opacos (que no permiten el paso de luz, y por ende la reflejan).

Tanto en luz ortoscópica como en conoscópica se hace uso de la luz transmitida o reflejada.



## Propiedades de los minerales bajo el microscopio

Para estudiar los minerales bajo el microscopio, también se utiliza un analizador (también llamado polarizador superior), que tiene una dirección de polarización perpendicular al primer polarizador. El uso del analizador sirve para estudiar la variación de las propiedades de un mineral al cambiar la dirección de vibración de la luz linealmente polarizada que incide sobre la muestra. Se distinguen entonces dos posiciones para el analizador:

- Posición de nícoles paralelos, cuando el analizador no está insertado.
- Posición de nícoles cruzados, cuando el analizador está insertado.

Cuando se estudia un mineral en cada posición, se determinan propiedades distintas; por estas posiciones son complementarias para poder llevar a cabo la identificación y descripción detallada de un mineral.

Tabla N° 16

*Propiedades de los minerales bajo el microscopio*

| Tipo de Iluminación    |                   | Tipo De Propiedades | Luz Transmitida   | Luz Reflejada  |
|------------------------|-------------------|---------------------|---|--|
| <b>Luz Ortoscópica</b> | Nícoles paralelos | Ópticas             | Color<br>Pleocroísmo<br>Relieve   | Color Pleocroísmo<br>Reflectancia<br>Birreflectancia |
|                        |                   | Estructurales       | Tamaño<br>Morfología<br>Clivaje   | Dureza relativa<br>Tamaño<br>Morfología<br>Clivaje   |
|                        | Nícoles cruzados  | Ópticas             | Anisotropía<br>Color de Interferencia<br>Birrefringencia<br>Extinción<br>Elongación | Anisotropía<br>Reflexiones Internas                  |
|                        |                   | Estructurales       | Maclas<br>Zonamiento  | Maclas<br>Zonamiento                                 |
| <b>Luz Conoscópica</b> | Nícoles cruzados  | Ópticas             | Carácter óptico<br>Signo Óptico<br>Angulo 2V  | (Carácter óptico)*<br>(Signo Óptico)*                |

(\*) El carácter y el signo óptico con luz reflejada no se observa fácilmente.

Fuente: Chirif, 2010.

## 2. Caracterización Mineralógica

La caracterización mineralógica consiste en la descripción e identificación de los minerales que componen una muestra (ya sea de mano o en sección para microscopio).

Para caracterizar mineralógicamente una muestra, se necesita seguir en orden los siguientes pasos:

- Descripción de los minerales.
- Descripción de las texturas principales
- Estimación porcentual del contenido mineral.
- Clasificación petrográfica de la muestra



Figura N° 23: Caracterización de minerales en el microscopio óptico.

### 3. Estudios Petrominerográficos

El estudio a escala microscópica tiene la ventaja de poder observar las relaciones intermineral ganga-mena lo que no se logra alcanzar vía macroscópica. Debido a sus beneficios se preparó 13 secciones delgadas y delgado/pulidas (Véase Cap. V). Éstas últimas tienen la característica de dar al observador un panorama de las relaciones de gangas-mena en una misma sección y deducir las asociaciones mineralógicas de la precipitación de ciertos minerales metálicos con minerales ganga (condiciones geoquímicas) y su secuencia paragenética.

#### **4. Análisis Modal**

Para la clasificación composicional de la roca intrusiva donde aflora la veta Milagros, se ha usado el doble triángulo de QAFP de Streckeisen (1976), recomendado por el I.U.G.S., para lo cual se ha utilizado los resultados del contenido porcentual de los principales minerales de las rocas ígneas, los que fueron recalculados al 100 % los minerales del grupo  $\text{SiO}_2$  (Vértice Q), feldespatos alcalinos (Vértice A), plagioclasas (Vértice P) y feldespatoides (F), cuyos resultados nos ayudan a identificar correctamente a las rocas. (Ver Anexo N°04).

Los resultados de dichos estudios y análisis se detallan en el capítulo III. Si bien es cierto sólo se solicitó el estudio microscópico óptico (MO); sin embargo, debido a la coyuntura actual de la pandemia por el COVID-19, muchos laboratorios han cerrado debido a sus protocolos de seguridad y no fue posible realizar análisis SEM/EDs con Microscopía electrónica a todas las muestras, solo a una.

#### **2.4.3.3. Procedimiento para pruebas metalúrgicas:**

Se realizó con 02 muestras compósitos, con el objetivo de analizar la respuesta de estos minerales ante procesos metalúrgicos nos sirven como base de futuros estudios con el fin de optimizar la recuperación en el futuro.

La flotación de sulfuros es una técnica de concentración que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral o especie de valor y la ganga. Se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas (usualmente aire) generada en la pulpa por algún medio externo, en la celda de flotación. Las burbujas de aire transportan los sólidos a la superficie donde son recolectados y recuperados como concentrado. La fracción que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituye el relave. (Araujo. 2014)

Las pruebas de flotación fueron realizadas en la Planta Concentradora de Minerales “El Mirador”, donde se realizaron análisis de los siguientes elementos: Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Sb, As. Se analizaron las leyes de cabeza, grado de recuperación de Ag, Au en celdas rougher, así como las leyes en el concentrado final y en el relave, Además se obtuvieron registros de consumo de cal y registros del PH natural concentrado. También se análisis de recuperaciones en el concentrado Bulk y análisis de leyes en lo relaves. Siguiendo algunos parámetros que se detallan a continuación.

## **I. Prueba Metalúrgicas Mineral de Ag-Pb-Au**

### **A. Análisis de cabeza**

Se proporciona una muestra de mineral polimetálico a la Planta Concentradora “EL MIRADOR”, esta muestra se somete al cuarteo respectivo para extraer 5 kilos de mineral en promedio, los mismos que

servirán para el análisis de cabeza respectivo y prueba metalúrgica correspondiente.

Este tipo de mineral que se tiene es básicamente polimetálico Ag, Pb de alta ley de plata, por lo que se deberá de aplicar el mejor método de concentración a fin de poder realizar una flotación forzada y recuperar todo el mineral valioso posible.

Tabla N° 17:

*Leyes de la muestra de Cabeza Ag, Pb, Au.*

| Especificación           | Au<br>g/TM | Ag<br>Oz/TM | Pb % | Zn % | Fe %  | As % | Sb % |
|--------------------------|------------|-------------|------|------|-------|------|------|
| <i>Muestra de Cabeza</i> | 8.18       | 53.88       | 2.71 | 0.10 | 21.26 | 0.70 | 2.61 |

*Fuente:* Planta Concentradora de Mineral “El Mirador”

## **B. Prueba Metalúrgica**

### **Procedimiento de flotación del mineral de Plomo - Plata**

La muestra obtenida como producto de molienda, por un tiempo de 12 minutos con un porcentaje de sólidos de 70%, fue diluido hasta obtener un porcentaje de sólidos a un 33%, con una densidad de pulpa de 1250 gr/Lt, condiciones y parámetros importantes para el proceso de flotación, el cual fue sometido a la prueba metalúrgica con el apoyo del equipo (celda de tipo Sub A-12), mediante el siguiente procedimiento.

- Por tener una cantidad considerable de mineral de hierro (pirita), fue necesario la adición de depresores de mineral de hierro en cantidades regulares.
- Se deberá tener en consideración la concentración del mineral de plata, en el concentrado final de plomo.

- Se debe de considerar que hay presencia de Estibina ( $Sb_2S_3$ ) que es muy probable que este muy enlazada a la matriz de la plata, como normalmente ocurre.
- Se deberá de tener atención en conservar una ley de plata alta en el concentrado de plomo para tener condiciones aceptables de comercialización.



*Figura N° 24:* Plateo del concentrado de plomo plata, se aprecia la estibina color plomizo opaco y lamas negras con alto contenido de plata.

### **Procedimiento de Flotación de Pirita Aurífera.**

De la primera etapa de flotación plomo y plata, la pulpa restante se somete a la siguiente etapa de flotación de pirita aurífera, ya que presenta un contenido regular en fierro y oro. Para esta etapa se debe de considerar que se flota a pH neutro, en donde podemos detallar el siguiente procedimiento.

- Se añaden activador de pirita y colectores de oro, en esta etapa de flotación.
- Se aprovecha el pH de la pulpa en la etapa de flotación anterior, para facilitar la flotabilidad de la pirita aurífera.





*Figura N° 25:* Plateo del concentrado de pirita.



*Figura N° 26:* Plateo del relave, se aprecia poca presencia de pirita color amarillo pálido, cuarzos y calizas. no se aprecia mineral sulfuro plata plomo antimonio.

## II. Prueba Metalúrgicas Mineral de Ag-Pb

### A. Análisis de cabeza

La segunda muestra de mineral polimetálico que se le proporciona a la Planta Concentradora “EL MIRADOR”, también se somete al cuarteo respectivo para extraer 5 kilos de mineral en promedio, los mismos que servirán para la realización de la prueba metalúrgica correspondiente. Este tipo de mineral que se tiene es básicamente polimetálico Ag, Pb con alta ley de plata, por lo que se deberá de aplicar el mejor método de

concentración a fin de poder realizar una flotación forzada y recuperar todo el mineral valioso posible.

Tabla N° 18:

*Leyes de la muestra de Cabeza Ag, Pb.*

| Especificación           | Au<br>g/TM | Ag<br>Oz/TM | Pb % | Zn % | Fe % | As % | Sb % |
|--------------------------|------------|-------------|------|------|------|------|------|
| <i>Muestra de Cabeza</i> | 5.68       | 15.09       | 1.42 | 0.13 | 9.15 | 1.03 | 1.03 |

*Fuente:* Planta Concentradora de Mineral “El Mirador”

## B. Prueba Metalúrgica

### Procedimiento de flotación de Plomo - Plata

La muestra obtenida como producto de molienda, por un tiempo de 12 minutos con un porcentaje de sólidos de 70%, fue diluido hasta obtener un porcentaje de sólidos a un 33%, con una densidad de pulpa de 1250 gr/Lt, condiciones y parámetros importantes para el proceso de flotación, el cual fue sometido a la prueba metalúrgica con el apoyo del equipo (celda de tipo Sub A-12), mediante el siguiente procedimiento.

- Se deberá tener en consideración la concentración del mineral de plata, en el concentrado final de plomo.
- Se deberá de tener atención en conservar una ley de plata alta en el concentrado de plomo para tener condiciones aceptables de comercialización.

A partir de todos estos resultados se realiza el análisis de toda la información obtenida en cada uno de los procedimientos, para determinar la asociación entre los minerales, leyes e intercrecimientos; así, es como se obtienen los resultados de esta investigación.



#### **2.4.4. Procedimientos de Análisis de Datos**

La cuarta y última etapa consiste en un trabajo final de gabinete donde se logró:

- Compilación y análisis de toda la información relacionada con la mineralogía de la zona. Que permite realizar finalmente la caracterización mineralógica de la Veta Milagros.
- Determinación de los minerales y fases críticas y portadores de elementos indeseables en la veta.
- Análisis e interpretación de las pruebas metalúrgicas preliminares de flotación.
- Análisis de la viabilidad geometalúrgica de las menas de la veta principal.
- Definición de la estrategia y procedimientos óptimos para el beneficio metalúrgico de la veta principal.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Ubicación

#### 3.1.1. Ubicación política

La veta Milagros aflora en el cerro Santa Rosa, dentro del Prospecto Granada, que comprende los centros poblados: Chirachal, Lloques, Pampa del Cóndor, El Genio y Granada; pertenecientes al distrito de Santiago de Chuco, provincia de Santiago de Chuco y departamento de La Libertad.

Limita al norte con los distritos de Quiruvilca y Santa Cruz de Chuca; al sur con la provincia de Virú; al este con el distrito de Pallasca y al oeste con la provincia de Julcán (Ver Figura N°27).

#### 3.1.2. Ubicación Geográfica

La Tabla 20 consigna las coordenadas UTM en sistema WGS84, zona 17g, de los vértices del área de estudio, con coordenadas centrales: Norte: 9084632.71 y Este: 813738.71.

El área se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes en el norte del Perú, las cotas varían desde 1500 hasta 2800 m.s.n.m.; se trata de un terreno bastante accidentado.

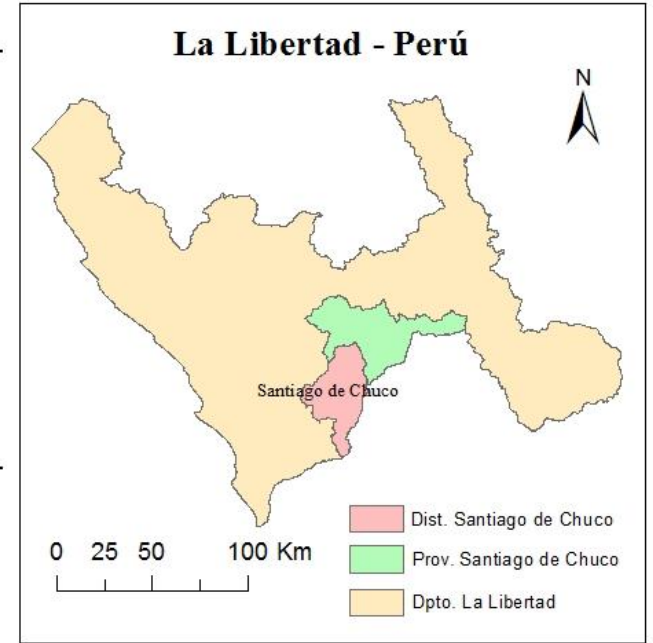
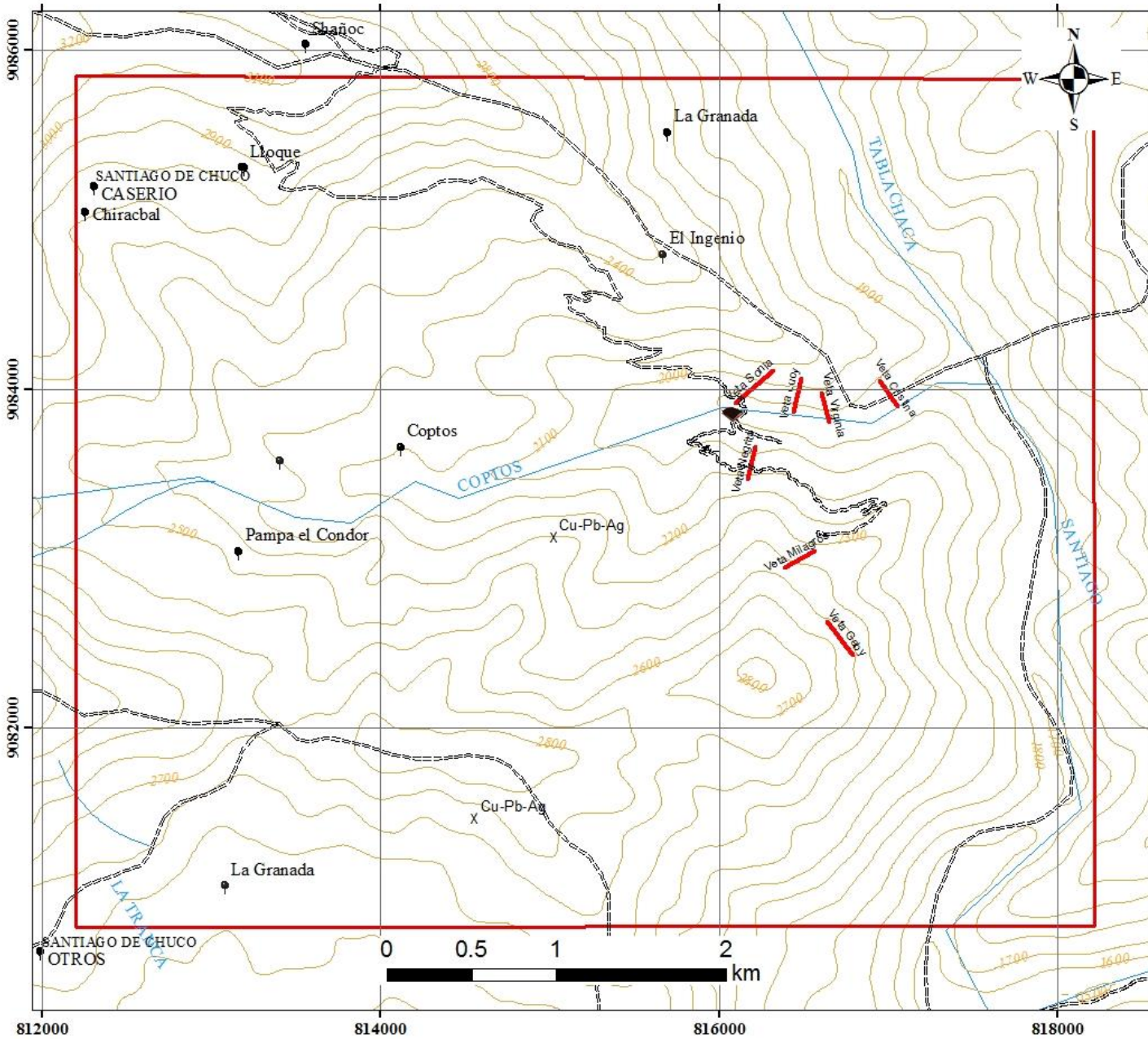
Tabla N° 19:

*Ubicación de la zona de estudio WGS84*

| VÉRTICES | ESTE      | NORTE      |
|----------|-----------|------------|
| 1        | 807738.81 | 9088632.37 |
| 2        | 825738.56 | 9088632.32 |
| 3        | 807738.76 | 9072632.59 |
| 4        | 825738.51 | 9072632.54 |

*Fuente:* Elaboración Propia

# PLANO DE UBICACIÓN



|                   |  |                                |
|-------------------|--|--------------------------------|
|                   | <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>   |                                |
|                   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>          |                                |
|                   | <b>INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>            |                                |
| <b>PLANO:</b>     | PLANO DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO |                                |
| <b>BACHILLER:</b> | MERLY GISELA MORALES MALCA             |                                |
| <b>ASESOR:</b>    | KARIN DÁVALOS FLORES                   |                                |
| <b>ESCALA:</b>    | 1/25,000                               | <b>PLANO:</b><br><br><b>01</b> |
| <b>SISTEMA:</b>   | WGS 84                                 |                                |
| <b>ZONA:</b>      | 17 S                                   |                                |
| <b>FECHA:</b>     | Mar-20                                 |                                |

Figura N° 27: Plano de Ubicación.

### 3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona donde se realizó el estudio, desde la ciudad de Lima es aproximadamente 730.5 km de carretera asfaltada – afirmada y un pequeño tramo de trocha de 36km la cual fue habilitada por la empresa Southern Perú Copper Corporation (SPCC) en el 2005 para perforar el Pórfido Granada; y de 2.5 km hasta la Veta Milagros habilitada el año 2019 por los propietarios del proyecto. En resumen, el acceso es como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 20:

*Accesibilidad hacia la zona de estudio*

| RUTA  | DISTANCIA | TIPO DE CARRETERA | TIEMPO     | MEDIO     |
|---|-----------|-------------------|------------|-----------|
| <i>Lima-Trujillo</i>                        | 550 km    | Asfaltada         | 8:00 horas | Terrestre |
| <i>Lima-Trujillo</i>                        | 550 km    | -                 | 0.40 horas | Aéreo     |
| <i>Trujillo- Santiago de Chuco</i>          | 142 km    | Asfaltada         | 5:00 horas | Terrestre |
| <i>Santiago de Chuco-Caserío la Granada</i> | 36 km     | Afirmada - Trocha | 4:30 horas | Terrestre |
| <i>Caserío la Granada-Veta Milagros</i>     | 2.5 km    | Trocha            | 0:10 horas | Terrestre |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. Clima y Vegetación

El clima en la zona tiene un ambiente cálido en la parte más baja, debido a la quebrada Coptos (1914 m.s.n.m.) y en las zonas elevadas el ambiente es un poco frío (2600m.s.n.m).

La temporada de lluvias corresponde a los meses de diciembre a marzo, donde la zona se convierte casi inaccesible, por la afluencia de la quebrada Coptos y los deslizamientos de lodo debido a las grandes pendientes.

La vegetación es casi inexistente excepto por algunos captus, maguey, molles, variedad de espinos y hasta pequeños naranjales presentes en la zona.





*Figura N° 28:* Vista NW-SE panorámica tomada desde el frente del Cerro Santa Rosa.

Se observa vegetación esporádica de pequeños captus, muy comunes en la zona y hacia el fondo arbustos en medio de la quebrada.

### 3.4. Geología Regional

La geología del área es típica de las laderas occidentales de los Andes, en las partes superiores predominan las rocas volcánicas andesíticas (flujos, aglomerados, brechas), mientras que en las partes inferiores los miembros del batolito costero son dominantes (Ver figura N° 30).

En el complejo intrusivo granodiorítico, afloran vetas con leyes muy interesantes especialmente la Veta Milagros, elevándose hasta 2800 m de altitud. Este complejo intrusivo ha infligido a las rocas envolventes circundantes de la serie volcánico-sedimentaria una fuerte alteración hidrotermal.

Estos afloramientos de rocas volcánicas, regionalmente pertenecen al grupo Calipuy; también hay afloramientos menores de los grupos Chicama y Goyllarisquizga.

Las principales unidades cenozoicas vienen a ser: la Formación Oyón (Ki-Oy) (Ver Anexo N°01).

Las siguientes secuencias, centros volcánicos y rocas sedimentarias fueron estudiadas por (Navarro & Rivera, 2010) y (Cossio, 1964).

### **3.4.1. Geomorfología Regional**

La región andina ha sido fuertemente influenciada por procesos tectónicos, como el levantamiento y formación de los Andes; así como fenómenos de erosión y denudación, tales como los fluviales y glaciales. Como resultado de toda esa geodinámica se observa zonas muy empinadas y valles de profundidad moderada a muy profundos; desarrollados principalmente por la erosión de los principales ríos y sus afluentes, los cuales discurren por la zona.

Tal como ocurre en todo el prisma andino, las unidades geomorfológicas están ligadas al proceso de levantamiento andino, producido por agentes tectónicos, erosionales y deposicionales, ocurridos a lo largo de la historia geológica; los principales productos neógenos son los sedimentos aluviales, fluviales y gravitacionales.

### **3.4.2. Estratigrafía Regional**

En el Plano 2 se observa que la zona está dominada por afloramientos de rocas volcánicas que regionalmente pertenecen al Grupo Calipuy; también hay afloramientos menores de los Grupos Chicama y Goyllarisquizga. Las principales unidades mesozoicas vienen a ser: la Formación Sapotal (Js-sa) y la Formación Oyón (Ki-Oy) (Ver Anexo N°01).

El Grupo Goyllarisquizga está representado por la Formación Chimú (Ki-chi), que está presente en el flanco oriental de la zona; así como también por las formaciones Carhuáz (Ki-ca) y Santa (Ki-s), las que principalmente ocurren al NE. La Formación Carhuáz se presenta en concordancia con la Formación Santa y subyace a la Formación Farrat (Navarro & Rivera, 2010), que consiste en intercalaciones de areniscas finas, limonitas y limoarcillitas, observadas a lo largo del río Santa, en el río Tablachaca y al noroeste y sureste de Angamarca (Cossio 1964).

Entre las unidades cenozoicas destaca la Formación Tablachaca (Pe-ta) de presencia importante en la zona (Plano 2); la cual, según Navarro & Rivera (2010), está constituida de conglomerados y areniscas hacia la base, cubiertas en concordancia por intercalaciones de niveles volcánicos y calcáreos; esta unidad está atravesada, en la zona del río Tablachaca por rocas intrusivas del Eoceno-Oligoceno y volcánicos andesíticos y dacíticos con edades de  $21.1 \pm 0.7$  Ma y  $35.2 \pm 0.4$  Ma.

El vulcanismo cenozoico es el que domina ampliamente la zona y consiste de depósitos de flujos piroclásticos de cenizas gris blanquecinas y de bloques y cenizas dacíticas, con intercalaciones de lahares; suelen presentar cristales de plagioclasas, anfíbol y a veces cuarzo (Navarro & Rivera 2010) y está subdividido en las siguientes secuencias: Pajillas (Po-paj), Monyugo (Po-mon), Angamarca (Po-ang/2), Volcán Cururupa (Po-Cu/2- Po-cu/3) y secuencia Alto Dorado (Nm-ad/1-Nm-ad/2); ver Plano de geología Regional (Anexo N°01).



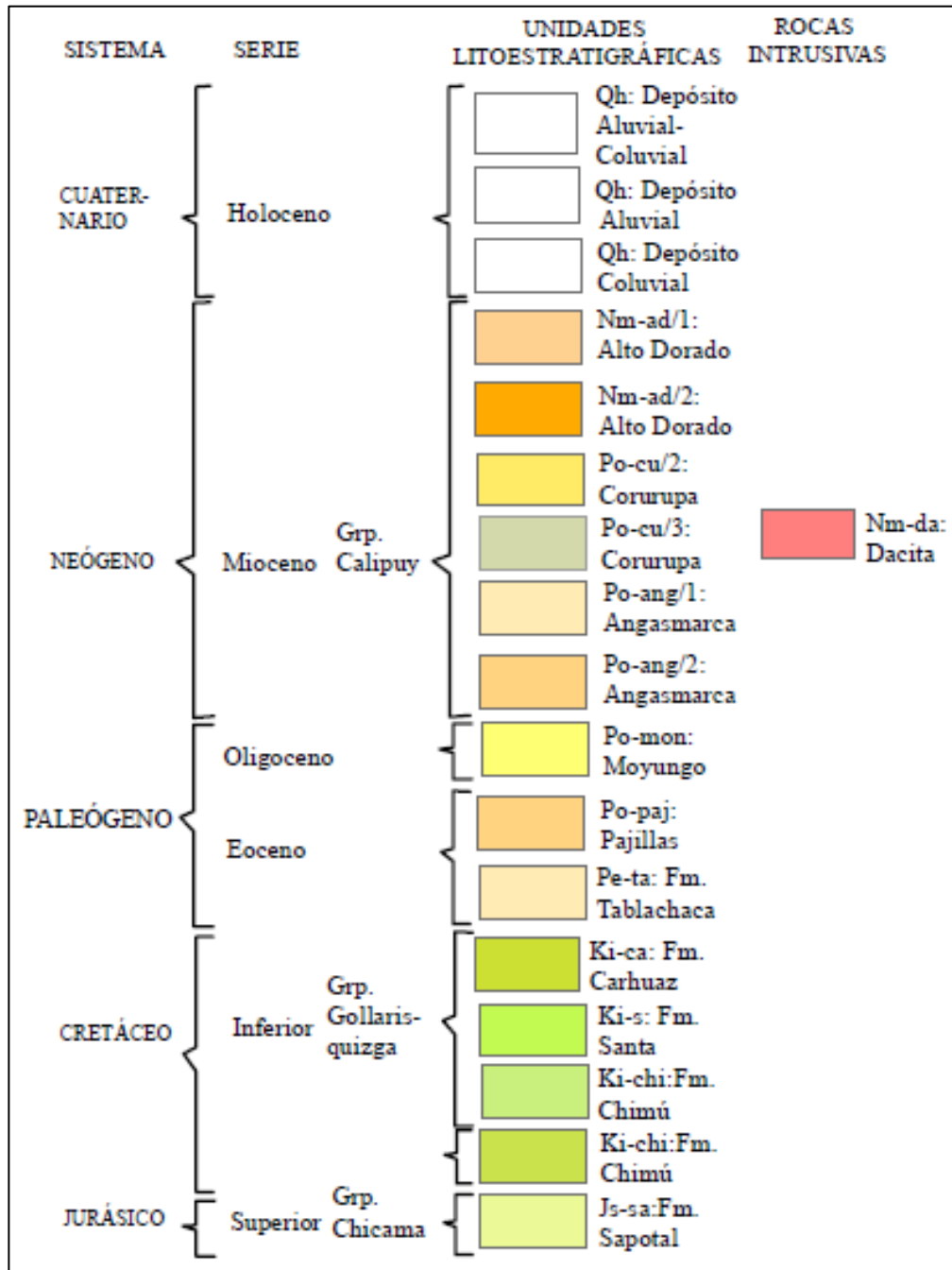


Figura N° 29: Estratigrafía Regional de la zona de estudio.

### 3.4.3. Rocas plutónicas

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de varios “stocks” de rocas intrusivas, de algunos kilómetros de diámetro, de composición esencialmente dacítica (Nm-da) y que según Vidal (1980) y Cobbing (2000) tendrían edades entre Eoceno y

Mioceno, es decir entre 55 y 50 Ma. El estudio petrográfico de algunas muestras evidencia una textura granular, con granulometrías menores a 300  $\mu\text{m}$ ; los minerales predominantes son las plagioclasas, algunas zonadas, a veces con inclusiones de óxidos de Fe y biotita, el cuarzo es subordinado y los feldespatos potásicos son escasos (Navarro & Rivera 2010).

#### **3.4.4. Rocas plutónicas**

En general, los cuerpos subvolcánicos son de composición andesítica, dacítica y riolítica, con predominio de las andesitas; presentan texturas porfiríticas con fenocristales de plagioclasa, anfíbol; a veces biotita y cuarzo (caso de dacitas y riolitas), en una matriz afanítica cuarzo-feldespática. Justamente se observa uno de estos cuerpos en el caserío de Pasachique, el cual es de composición dacítica y está emplazado con una orientación NO-SE; se encuentra cortando a la secuencia volcánica Tablachaca.

#### **3.4.5. Depósitos cuaternarios**

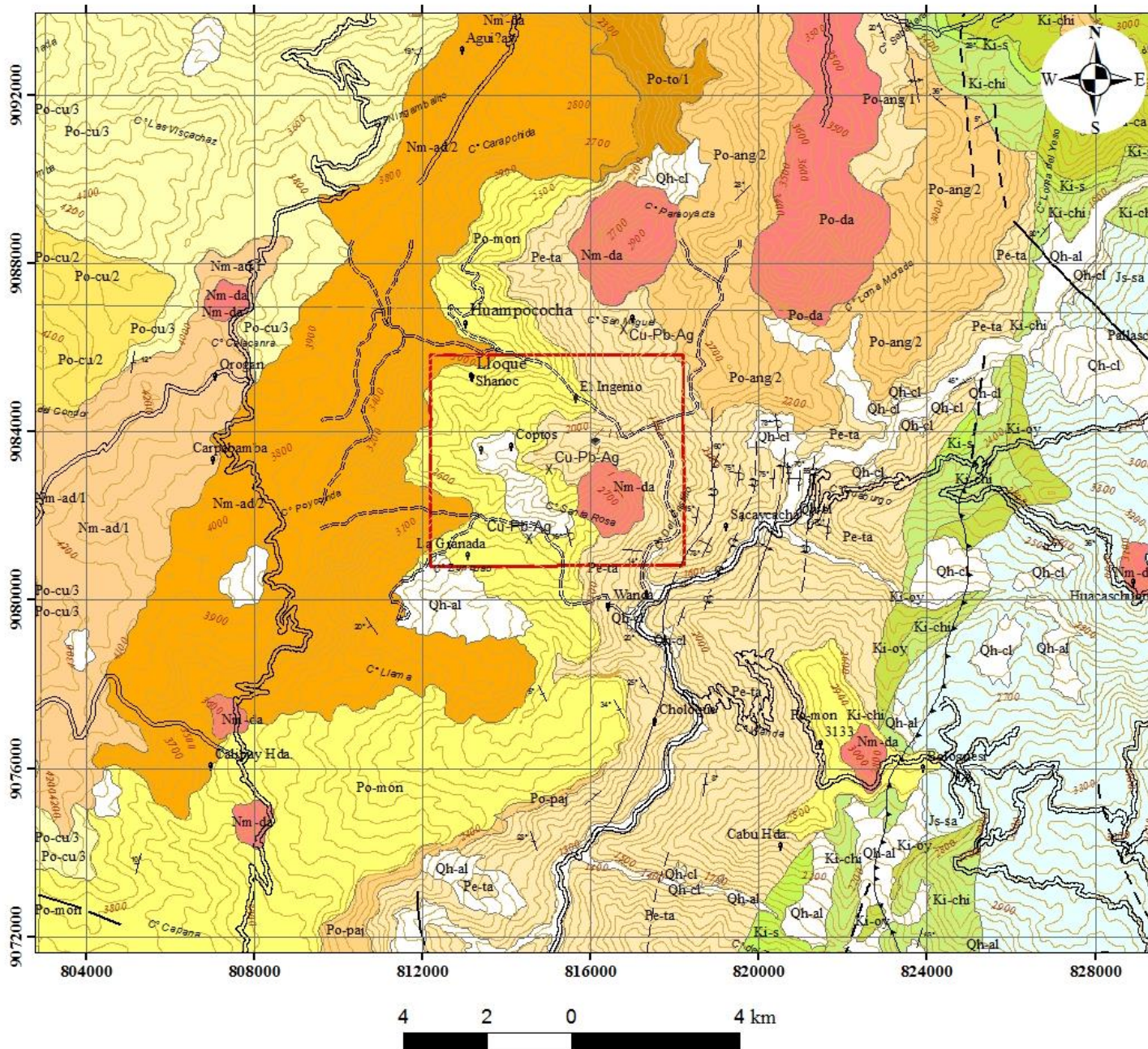
Los depósitos cuaternarios están principalmente conformados por depósitos aluviales emplazados a lo largo de los cauces de quebradas, ríos (Tablachaca, Sogovara y Coptos) y escorrentías; así como depósitos recientes consistentes en acumulaciones de gravas, arenas y limos, en depresiones y regolitos.



*Figura N° 30:* Vista NE-SE panorámica de la margen derecha del Río Tablachaca, en la zona de Pasachique. Se observa un cuerpo sub-volcánico dacítico que corta a la secuencia volcánica Tablachaca.



# PLANO GEOLÓGICO REGIONAL



**LEYENDA**

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| ◆ Campamento       | — Buzamiento         |
| x Prospectos       | — Contacto           |
| 📍 Centros Poblados | ↕ Anticlinal         |
| ==== Via de Acceso | ↔ Anticlinal Volcado |
| ▭ VETAS            | - - - Inferido       |
| ▭ Área de Estudio  | ▲▲▲ Falla Inversa    |
| 📏 Curvas de Nivel  |                      |

| SISTEMA     | SERIE     | UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS  | ROCAS INTRUSIVAS |
|-------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| CUATERNARIO | Holoceno  | Qh: Depósito Aluvial-Coluvial |                  |
|             |           | Qh: Depósito Aluvial          |                  |
|             |           | Qh: Depósito Coluvial         |                  |
| NEÓGENO     | Mioceno   | Grp. Calpuya                  | Nm-da: Dacita    |
|             |           | Nm-ad/1: Alto Dorado          |                  |
|             |           | Nm-ad/2: Alto Dorado          |                  |
| PALEÓGENO   | Oligoceno | Po-cu/2: Corurupa             |                  |
|             |           | Po-cu/3: Corurupa             |                  |
|             |           | Po-cu/1: Angasmарca           |                  |
| CRETACEO    | Inferior  | Grp. Gollaris-quizga          |                  |
|             |           | Ki-s: Fm. Santa               |                  |
|             |           | Ki-chi: Fm. Chimú             |                  |
| JURÁSICO    | Superior  | Grp. Chicama                  |                  |
|             |           | Js-sa: Fm. Sapouí             |                  |

|                                   |                               |                     |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| <br>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE | UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE |                     |
|                                   | FACULTAD DE INGENIERÍA        |                     |
|                                   | INGENIERÍA GEOLÓGICA          |                     |
| PLANO:                            | PLANO GEOLÓGICO REGIONAL      |                     |
| BACHILLER:                        | MERLY GISELA MORALES MALCA    |                     |
| ASESOR:                           | KARIN DÁVALOS FLORES          |                     |
| ESCALA:                           | 1/100,000                     | PLANO:<br><b>02</b> |
| SISTEMA:                          | WGS 84                        |                     |
| ZONA:                             | 17 S                          |                     |
| FECHA:                            | Mar-20                        |                     |

Figura N° 31: Plano Geológico Regional



### 3.5. Geología Local

En el Plano N°03 se muestra la Geología Local, compuesta especialmente por el complejo intrusivo del Cerro Santa Rosa, que presenta una roca granodiorita de grano medio, que puede variar localmente a facies microgranados e incluso porfiríticos y aplíticos. Las texturas porfiríticas se encuentran en elevaciones más altas (2800m).

#### 3.5.1. Geomorfología Local

Las principales unidades geomorfológicas que se reconocen en la zona de estudio son: Montaña en roca intrusiva, montaña en roca volcánica, vertiente o piedemonte coluvio- deluvial y terraza aluvial; las cuales son producto de una serie de procesos agradacionales y gradacionales, formados en tiempo geológico. Están desarrolladas principalmente en rocas volcánicas y en menor proporción en stocks de roca intrusiva, formando valles con pendiente pronunciada que varían de 20° a 50° (Luque, 2012); aunque también hay zonas algo más escarpadas (Figura N°32) generalmente con abundante material fluvio-eluvial, como a lo largo de la quebrada Coptos.



Figura N° 32: Vista NE-SE, donde resaltan montañas y superficies de erosión formadas en rocas volcánicas e intrusivas.

### 3.5.2. Estratigrafía Local

En el Plano 3 se observa localmente que la zona está dominada por la presencia de rocas volcánicas y volcanosedimentarias; las cuales han sido cortadas por stocks intrusivos terciarios de composición esencialmente diorítica a tonalítica de acuerdo con estudios petrográficos realizados por Mejía, (2016); sin embargo, tal como se observa en la figura 3, Cossio (1964) menciona que los intrusivos de la zona son dacíticos (Nm-da). A continuación, se describe la litología:

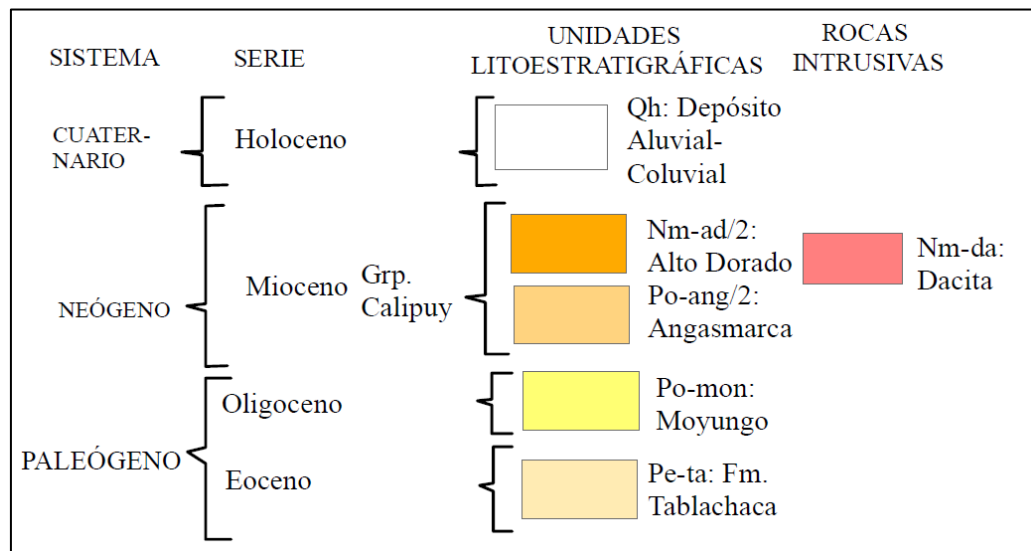


Figura N° 33: Estratigrafía Local de la zona de estudio.

#### Unidades Cenozoicas

##### Paleogeno - Eoceno

**Formación Tablachaca (Pe-ta).**- Según Navarro & Rivera (2010) está constituida por niveles de conglomerados y areniscas rojizas en la base y cubiertas por niveles volcánicos la base de Calipuy; sus afloramientos se evidencian en el río Tablachaca al este del área de estudio. Sus relaciones estratigráficas muestran que sobreyacen a las secuencias de tobas de cenizas de la formación Moyungo. Asimismo, está intruida por rocas intrusivas del Eoceno – Oligoceno que han

reportado edades de 21.1  $\pm$  0.7 Ma y 35.2  $\pm$  0.4. La posición estratigráfica va de cretáceo superior paleógeno inferior.

## **Paleogeno - Oligoceno**

**Formación Moyungo (Po-mon).**- Consiste de tobas de cenizas violáceas a gris verdosas presentan cristales de plagioclasas, anfíbol y a veces cuarzo. Cubiertos por niveles delgados de lavas andesíticas, de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas y cristales de piroxenos y depósitos de cenizas, aflora en la parte central del área de estudio. Estratigráficamente infrayacen la secuencia Angasmarca compuesta por tobas de bloques e intercalación de lahares, que corresponde al segundo evento eruptivo (Po-an/2). Por lo tanto, se le asigna una edad de Oligoceno. Navarro & Rivera (2010)

## **Mioceno**

### **Grupo Calipuy**

**Secuencia Angasmarca (Po-an/2).** – Según, Navarro & Rivera (2010), esta secuencia se caracteriza por presentar tobas, bloques y cenizas intercalado con lahares (500 m). Se dividen en dos eventos eruptivos Po-ang/1 constituido de tobas de cenizas grises con presencia de plagioclasas, anfíboles. En cambio, la Po-ang/2 comprende tobas de bloques e intercalaciones de lahares. Aún no se ha reportado edades definidas.

**Alto Dorado (Na-ad/2).**- Agrupado en dos eventos eruptivos. En el segundo evento (Nm-ad/2) constituido de tobas de cenizas andesíticas, grises porfídicos con fenocristales de plagioclasas y anfíbol; cubiertos por depósitos de tobas, color



gris blanquecino, con cristales de plagioclasa, biotita, anfíbol y cuarzo y fragmentos líticos lávicos. Los depósitos del centro volcánico Alto Dorado sobreyacen la secuencia Angasmarca. Las muestras reportan edades de  $20.4 \pm 1$  Ma y  $18.5 \pm 0.8$  Ma. Navarro & Rivera (2010).

### 3.5.3. Rocas Igneas

Las rocas intrusivas se estudiaron a detalle en la tesis de Mejía (2016). Estas rocas intruyen las secuencias volcano-sedimentarias, atravesadas por vetas y venillas con direcciones de rumbo entre  $N50^{\circ}E$  y  $N60^{\circ}E$  y un buzamiento de  $20^{\circ}$  a  $25^{\circ}$  al SO. Los cuerpos intrusivos afloran en la parte central del área de estudio, presentan zonas de diaclasamiento subvertical de dirección  $N50^{\circ}E$ , en contacto erosional con depósitos coluviales, se presenta también como roca encajonante de las vetas y en constante erosión por el río Coptos.

El Cerro Santa Rosa donde aflora la Veta Milagros representa al stock intrusivo más importante de la zona, el cual tiene una altitud de 2800 m.s.n.m., y está flanqueado por la quebrada Coptos. De acuerdo a Salazar (2005) el cerro Santa Rosa es un intrusivo granodiorítico complejo de grano medio, localmente grano fino, a veces hasta aplítico; con facies porfiríticas en su parte más alta. Según Salazar la alteración es esencialmente deutérica y consiste principalmente en piritización, silicificación y turmalinización. Presenta fracturamiento intenso, principalmente sub-vertical y de rumbo  $N60^{\circ}-70^{\circ}E$ . La zona más alterada se encuentra hacia el extremo NW; donde se observa turmalina cristalizadas y zonas de brecha de turmalina; así como pigmentación verde-azulada de oxisales de cobre. Cabe indicar que el Cerro Santa Rosa se muestra como la zona más prospectiva del área, debido a su intensa alteración.

En la margen derecha del Río Coptos, afloran tonalitas de textura granular fanerítica; las que presentan venillas milimétricas de cuarzo-pirita-jarosita; así como pigmentación parda por limonitización y una débil cloritización. Cuando los intrusivos son roca de caja de las vetas, se les observa más alterados. Unos cuantos kilómetros aguas arriba a la altura del Huerto Granada se observa afloramientos de este intrusivo, pero pigmentados de verde por oxisales de cobre.

#### **3.5.4. Depósitos cuaternarios**

Los depósitos del cuaternario se encuentran a lo largo del fondo y laderas de los valles de los ríos Tablachaca y Coptos, formando el relleno del cauce y terrazas de extensiones y grosores variables. También se tienen sedimentos aluviales, fluviales y fluvio-aluviales; éstos últimos circunscritos a los paleo-cauces y cauces actuales de las escorrentías y ríos que discurren por la zona.

## PLANO GEOLÓGICO LOCAL

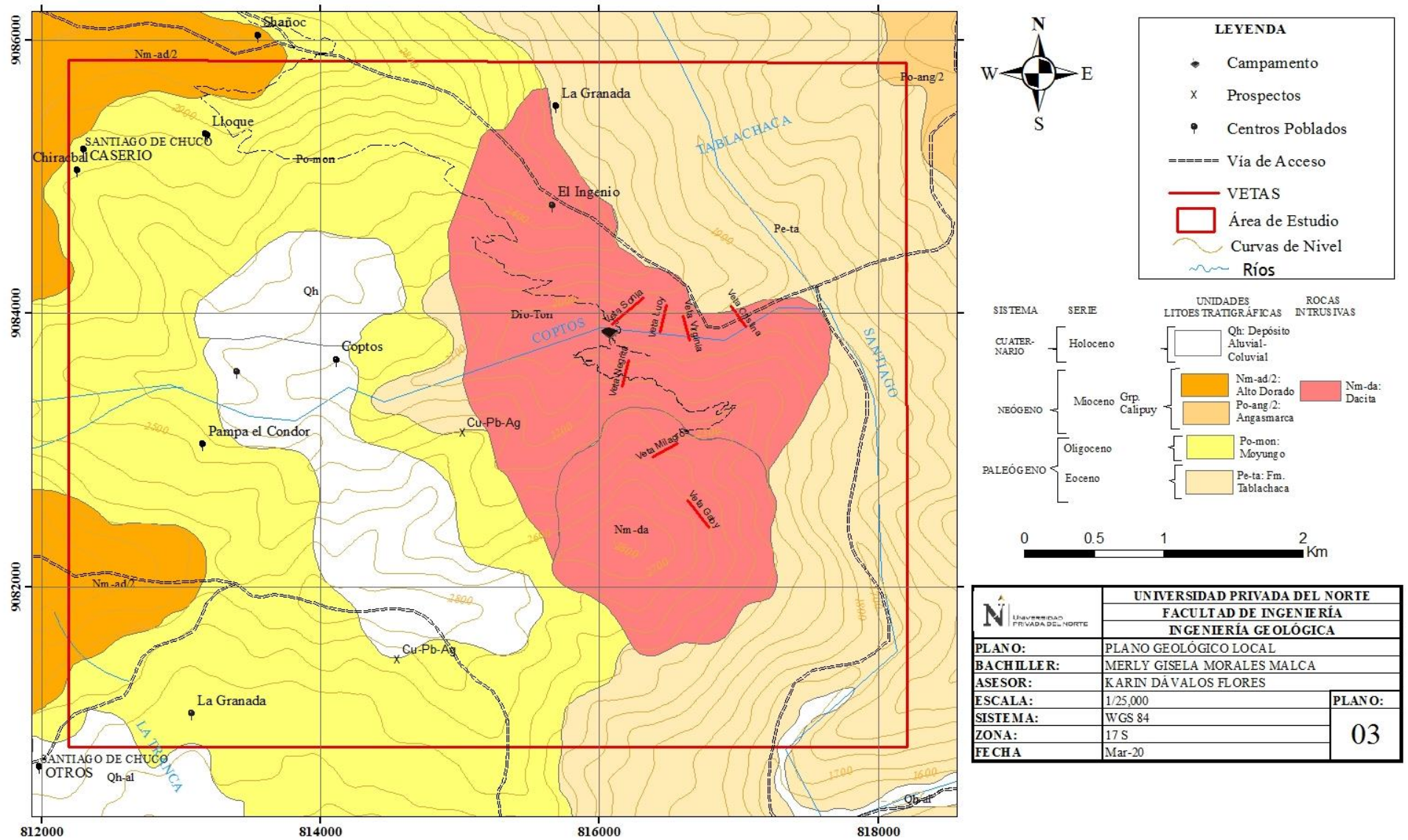


Figura N° 34: Plano Geológico Local a partir de Mejía (2016)

### 3.5.5. Alteración y mineralogía de vetas

El intrusivo ha sufrido intensa alteración deutérica en su capa externa. La alteración consiste en la difusión de piritita y microventilación, silicificación y turmalinización. La alteración más fuerte se ha centrado en la esquina NO del stock intrusivo Santa Rosa, localmente parches de brecha de turmalina fuertemente alterada. Cerca de estas brechas en superficie, se puede observar una moderada tinción debido a sulfatos de cobre. Curiosamente, la alteración potásica está ausente en las áreas de superficie estudiada.

En la superficie de erosión actual, la alteración ha sido agravada por la alteración supérgena provocada por las aguas ácidas derivado de la lixiviación de piritita durante la meteorización. Todo esto causa un fuerte color amarillo.



Figura N° 35: Vista hacia el S panorámica. Se observa el Cerro Santa Rosa compuesta por un intrusivo granodiorítico fuertemente alterado. El campamento Granada se encuentra detrás de la loma que se observa al lado izquierdo de la foto. En primer plano se observa la Hacienda Granada.

Esta alteración fue objeto de la campaña de perforación 2005 Southern Peru Copper Corp. Sin embargo, la veta Milagros no muestra abundancia de



sulfuros de cobre, por el contrario, muestra muy limitada tinción secundaria de cobre de las caras de las rocas.



*Figura N° 36:* Vista hacia el SW del Cerro Santa Rosa, desde la carretera de acceso al Proyecto. Se observa claramente la fuerte alteración del intrusivo: una alternancia de silicificación, limonitización, jarositización y arcillas subordinadas. El afloramiento de la Veta Milagros se encuentra a la espalda de Cerro Santa Rosa

### 3.5.6. Mineralogía de Vetas

En la zona de estudio ocurren una serie de vetas hidrotermales polimetálicas, tal como se observa en el la figura N°37, principalmente de cuarzo con sulfuros, entre los cuales predomina la estibina y la pirita, en menor proporción arsenopirita, calcopirita y cobregrises. Y existen zonas de relleno de fallas que contienen panizo, debido a que se trata de vetas-falla.

Actualmente, la única veta que se encuentra en producción es la Veta Negrita, la cual tiene leyes económicas de Ag y Au. Las demás vetas sólo tienen labores de longitudes decamétricas de reconocimiento; con excepción de la Veta Milagros que se encuentra en preparación para su explotación, siendo la más

importante del proyecto debido a sus altas leyes de Ag y Au como se evidencia en sus recientes análisis químicos. (Ver Anexo N°03).

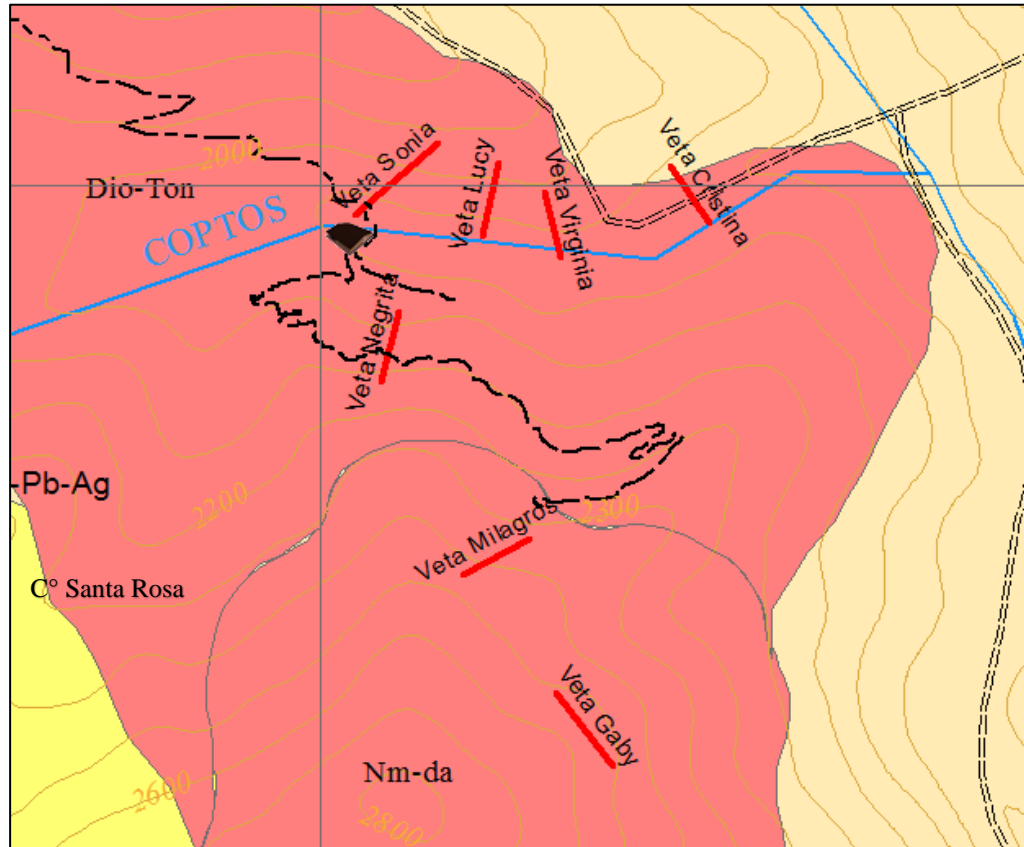


Figura N° 37: Aumento de la vista de la Figura N°10 donde se evidencia el conjunto de vetas que afloran en el Cerro Santa Rosa.

A continuación, se describe las vetas más importantes de la zona de estudio, con apoyo de los estudios realizados por Mejía (2016) y Mamani (2019):

### 3.5.6.1. Veta Negrita

Se trata de una veta algo bandeada, constituida mineralógicamente por agregados y diseminación de arsenopirita y pirita, en gangas constituidas principalmente por cuarzo, epídota, turmalina y trazas de zircón. Presencia escasa de cobrebrises y calcopirita. Con leyes promedio de 8.7 ppm de Au, 12.4 ppm de Ag, 2800 ppm de Cu, 12ppm de Mo, 306 ppm de Pb, 164 ppm de Zn.

Su roca de caja es de composición tonalítica y por lo general se encuentra fuertemente silicificada y con tramos de alteración potásica intensa. (Mamaní,2019).

#### **3.5.6.2. Veta Virginia**

Mejía (2016) menciona que está constituida mineralógicamente por arsenopirita, jarosita, cuarzo, arcillas y como minerales de alteración limonitas y sericita. El afloramiento principal se encuentra en el corte de la trocha que pasa por el flanco derecho del río Coptos. Debido a la fuerte lixiviación supérgena, de la mineralogía primaria de la veta sólo se reconoce algo de arsenopirita, acompañada de jarosita y limonitas. La roca de caja es una porfirítica muy alterada, silicificada y con parches de arcillas; además de venillas oscuras de turmalina.

#### **3.5.6.3. Veta Lucy**

Potencia promedio 1.05 m. Rumbo N25°E y buzamiento 88° al N. Minerales primarios totalmente lixiviados, sólo se observa masa limonítica con OXs de manganeso. La roca de caja es una roca porfirítica bien fracturada, de color gris, con hidróxidos de hierro, jarosita y también presencia de turmalina acicular subradiada. Mejía (2016)

#### **3.5.6.4. Veta Cristina**

Veta de afloramiento algo sinuoso, con una potencia que varía de 20-90 cm; en partes fuertemente brechada, argilizada y algo silicificada; con óxidos de



hierro (OXsFe), jarosita cristalizada y terrosa, con fragmentos de intrusivo centimétricos, argilizados, silicificados y con turmalina. Mejía (2016).

#### **3.5.6.5. Veta Sonia**

La veta no tiene un afloramiento definido. Lo que se observa es un intrusivo chispeado con turmalina en fracturas subverticales abiertas. Hay presencia de zonas pigmentadas a pardo amarillo por óxidos y limonita; presencia de melanterita, escasa disseminación de arsenopirita, magnetita, trazas de calcopirita, esfalerita, sericita y muscovita. Mejía (2016).

### 3.6. Caracterización mineralógica macroscópica y microscópica de la Veta Milagros

El propósito fundamental de una caracterización mineralógica es proporcionar la información necesaria para desarrollar y optimizar los procesos de concentración (Henley, 1983).

La identificación mineralógica de la veta Milagros fundamentalmente se llevó a cabo mediante los estudios de microscopía óptica, logrando identificar minerales translúcidos que forman la ganga, en luz transmitida y nicoles paralelos y/o cruzados los siguientes minerales:

Tabla N° 21:

*Minerales Translúcidos - Ganga*

| MINERALES TRANSLÚCIDOS |             |   |
|------------------------|-------------|---|
| Nombre                 | Abreviatura | Fórmula   |
| Anatasa                | ats         | TiO <sub>2</sub>  |
| Anfiboles              | ANFs        | Ca <sub>2</sub> (Fe,Mg) <sub>4</sub> Al(Si <sub>7</sub> Al)O <sub>22</sub> (OH,F) <sub>2</sub>                                  |
| Apatito                | ap          | Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)   |
| Arcillas               | ARCs        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O Hidroxi-alumo-silicatos, con o sin: Ca, Na, Mg y Fe      |
| Biotita                | bt          | K(Mg,Fe) <sub>3</sub> (Al,Fe)Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>  |
| Cloritas               | CLOs        | (Mg,Al,Fe) <sub>12</sub> [(Al,Si) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> ](OH) <sub>16</sub>  |
| Cuarzo                 | cz-I        | SiO <sub>2</sub>  |
|                        | cz-II       | SiO <sub>2</sub>  |
|                        | cz-III      | SiO <sub>2</sub>  |
| Leucoxeno              | LCXs        | TiO <sub>2</sub>  |
| Muscovita              | mus         | KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>  |
| Óxisales de plomo      | OXLs Pb     | -   |
| Pirofilita             | prf         | Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>   |
| Piroxeno               | PXs         | (Ca,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>   |
| Plagioclasas           | PGLs-I      | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>  |
| Rutilo                 | rt          | TiO <sub>2</sub>  |
| Sericita               | ser         | KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>  |
| Sílice amorfa          | sil-am      | SiO <sub>2</sub>  |
| Turmalina              | tur         | (Na,Ca)(Al,Fe,Li)(Al,Mg,Mn) <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ).(OH,F) <sub>4</sub> |
| Zircón                 | zir         | ZrSiO <sub>4</sub>  |

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla al igual que la anterior se presenta en nombre del mineral, su abreviatura y la fórmula de cada mineral observado, en esta ocasión en luz reflejada

y nícoles paralelos y/o cruzados, se logró identificar los siguientes minerales opacos, que corresponden a las menas:

Tabla N° 22:

*Minerales Opacos - Mena*

| MENAS                      |             |  |
|----------------------------|-------------|--|
| Nombre                     | Abreviatura | Fórmula  |
| <b>Arsenopirita</b>        | apy         | FeAsS  |
| <b>Bornita</b>             | bn          | Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>   |
| <b>Calcopirita</b>         | cp          | CuFeS <sub>2</sub>   |
| <b>Cobregrires</b>         | CGRs        | (Cu,Fe) <sub>12</sub> (Sb,As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>                     |
| <b>Covelita</b>            | cv          | CuS  |
| <b>Esfaletita</b>          | ep          | ZnS  |
| <b>Estibina</b>            | stb         | Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   |
| <b>Jamesonita</b>          | jm          | Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>                              |
| <b>Jarosita</b>            | jar         | KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>             |
| <b>Pirita</b>              | py          | FeS <sub>2</sub>   |
| <b>Sulfosales de Plata</b> | SFSsAg      | (Ag,Cu) <sub>16</sub> As <sub>2</sub> S <sub>11</sub><br>( <i>Pearceita</i> )  |
|                            |             | (Ag,Cu) <sub>16</sub> Sb <sub>2</sub> S <sub>11</sub><br>( <i>Polibasita</i> ) |

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentarán imágenes correspondientes a fotomicrografías tomadas con el software y un microscopio óptico marca Zeiss con luz reflejada y transmitida, en las que se observa la relación entre minerales mena y ganga, formas de ocurrencia, ensambles e intercrecimientos más importantes de la Veta Milagros:

### 3.6.1. Minerales Translúcidos:

Las gangas que componen la veta se describen a continuación, el análisis de las Gangas se realiza con luz transmitida, en nícoles paralelos y/o cruzados.

#### 1. PLAGIOCLASAS: NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

Ocurren como cristales euhedrales con relleno intergranular de cuarzo débilmente alterados por sericitas (VM-11).

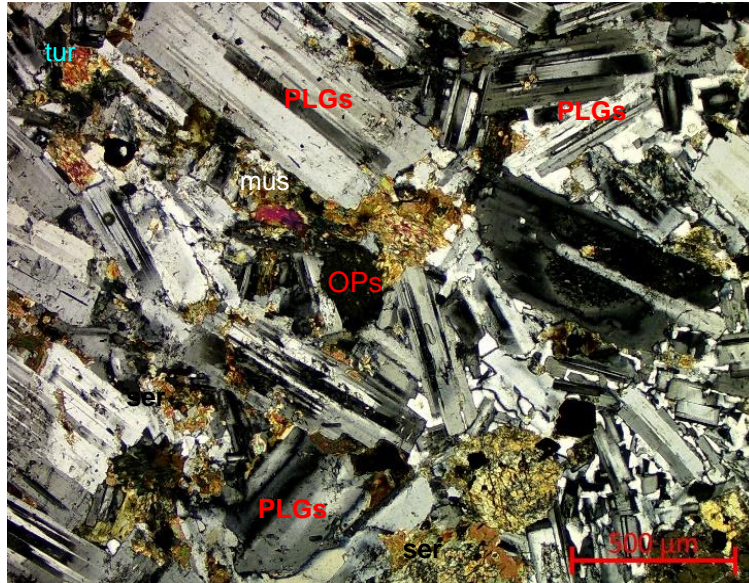


Figura N° 38: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa agregados de cristales hectomicrométricos de plagioclasa (PGLs) intercrecidos con agregados hectomicrométricos de sericita (ser) asociados con muscovita (mus). En la parte superior izquierda se da ocurrencia de agregados prismáticos radiados hectomicrométricos de turmalina (tur). Se observa cristales subhedrales de minerales opacos (flechas rojas)

## 2. ANFIBOLES: $\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$

Ocurre esporádicamente como solitarios fenocristales euhedrales; son reemplazados parcial- o totalmente por cloritas (VM-11)

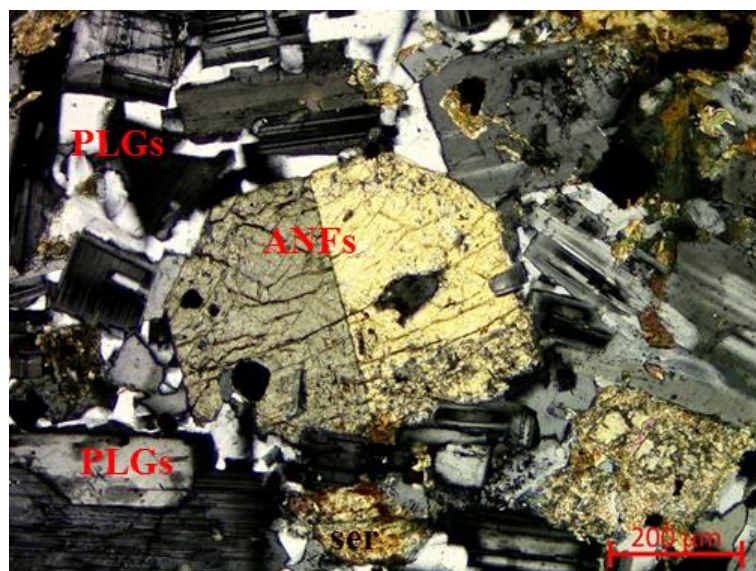


Figura N° 39: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa agregados hectomicrométricos de plagioclasas (PLGs) ligeramente alterados por sericita (ser). En la parte central, se observa cristales hectomicrométricos de anfíboles (ANFs). En algunas ocasiones se presenta biotita (bt) en forma de lentes.



### 3. PIROXENO: $(Ca,Mg,Fe)_2(Si,Al)_2O_7$

Mineral escaso, ocurren como fenocristales relícticos subhedrales de tamaño hecto- a decamicrométrico (VM-11) en la matriz.

### 4. BIOTITA: $K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,F)_2$

Ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamicrométrico (VM-01, VM-02A, VM-08, VM-11).

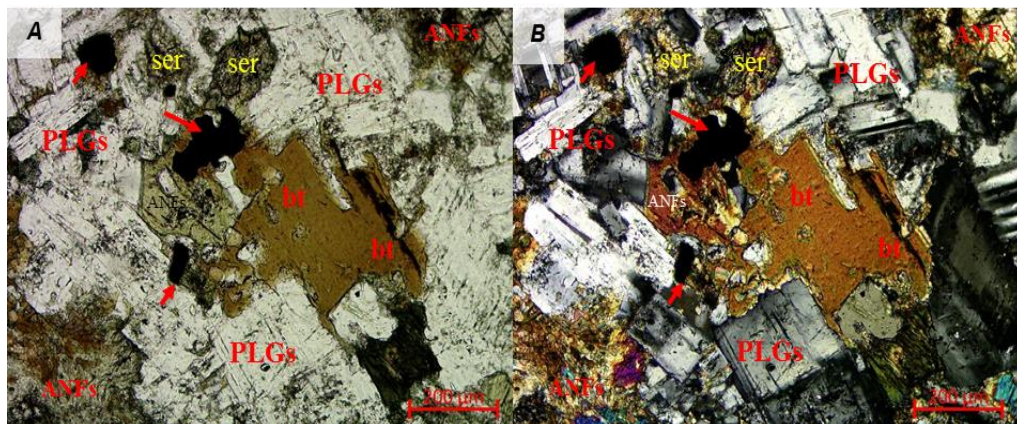


Figura N° 40: A- Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Se observa agregados hectomicrométricos de plagioclasas (PLGs) intercrecidas con agregados decamicrométricos de cristales de biotita (bt) asociados con cristales hectomicrométricos de anfíboles (ANFs). B. La misma vista de A , pero en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa las maclas de los cristales hectomicrométricos de plagioclasas (PLGs), débilmente alterados por sericita (ser). Se observa los colores de interferencia de los anfíboles (ANFs). Presencia de cristales subhedrales de minerales opacos (flechas rojas)

### 5. APATITO: $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$

Ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamicrométrico (VM-01, VM-02A, VM-08, VM-11).

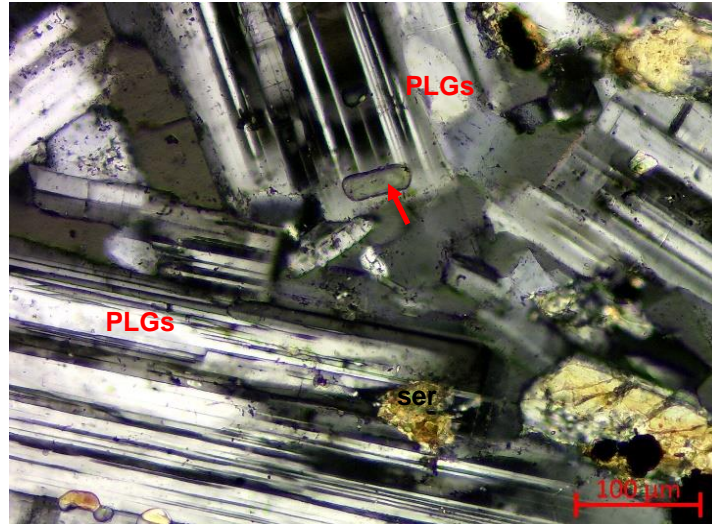


Figura N° 41: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa inclusiones de un cristal euhedrales de apatito (línea roja), en cristales euhedrales de plagioclasas (PLGs) y en menor proporción agregados micrométricos de sericita (ser). En la parte inferior derecha se muestra cristales prismáticos estriados de turmalina (tur).

## 6. CUARZO: SiO<sub>2</sub>

- El cuarzo I son fenocristales anhedrales hectomicrométricos, con inclusiones fluidas e inclusiones de cristales subhedrales de zircón, rutilo y apatito, de tamaños milimétricos. (Foto\_VM-01\_05). Ocurre como fenocristales con inclusiones fluidas zircón y sulfatos (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11)

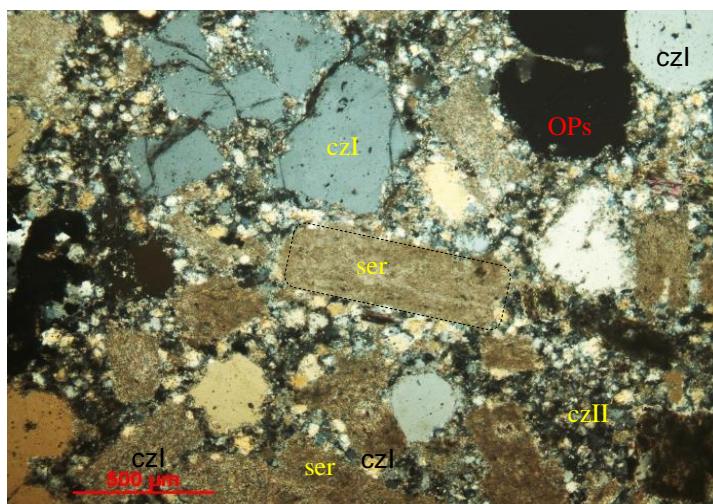


Figura N° 42: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa un cristal euhedrales de tamaño decamicrométricos de cuarzo I (czI). Ver Muestra VM-01.



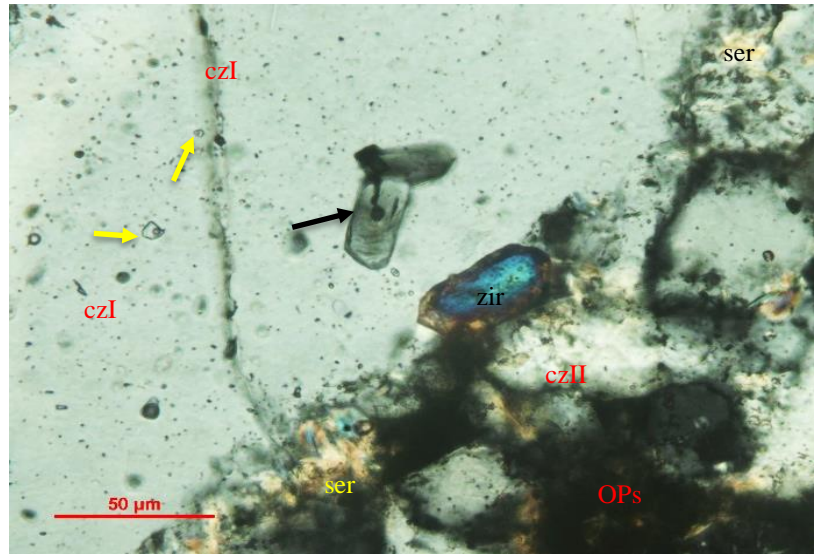


Figura N° 43: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa un cristal euhedral de tamaño decamicrométrico de zircón (zir) y apatito (flecha negra), en un cristal de cuarzo I (czI) que contiene inclusiones fluidas (flechas amarillas) generalmente bifásicas (L>G) y algunas monofásicas. Ver muestra VM-01

- El cuarzo II ocurre como cristales anhedrales en la matriz (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11) suele estar asociado a la sericita, muscovita y pirofilita (VM-06A y 06B), o intercrecidos con playas decamicrométricas de sulfuros cristalizados (VM-04, VM-05 y VM-10).

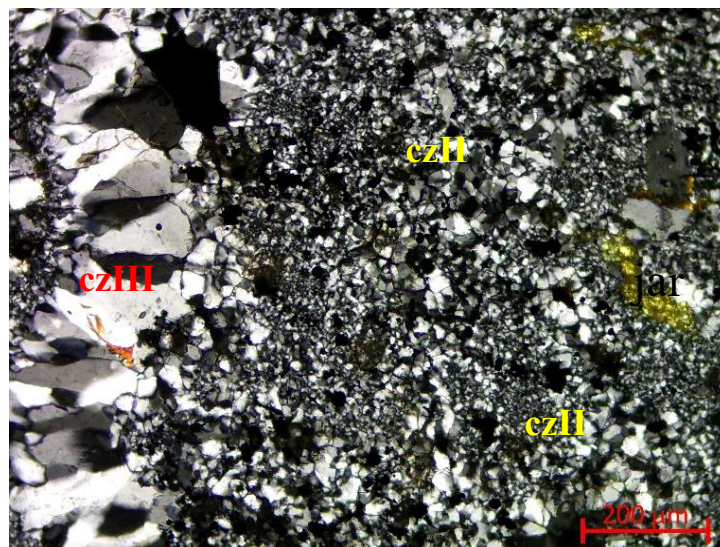


Figura N° 44: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Predomina los agregados granulares anhedrales a subhedrales de cuarzo II (czII). A la izquierda se evidencia cristales euhedrales a subhedrales de cuarzo III (czIII). Ver muestra VM-05



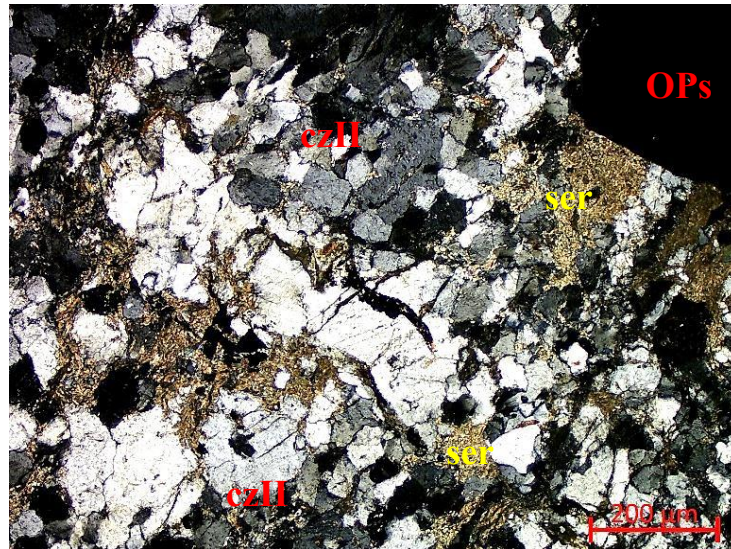


Figura N° 45: Fotomicrografía en luz transmitida y nículos cruzados. Se observa agregados hecto-micrométricos de sericita (ser) asociados con cuarzo (czII). Ver muestra VM-05

- El cuarzo III ocurre relleno algunos espacios vacíos, se asocia con pirita y contiene inclusiones fluidas y cristales de zircón (VM-01). Como diminutos cristales prismáticos de jamesonita marcando el zonamiento (VM-04), Intercrecidos con Sulfosales de Plata (VM-05) además presenta algunas inclusiones fluidas e intercrecimientos con agregados lanceolados de jamesonita (VM-06A y VM-10) en ocasiones también presenta inclusiones de pirofilita (VM-06B).

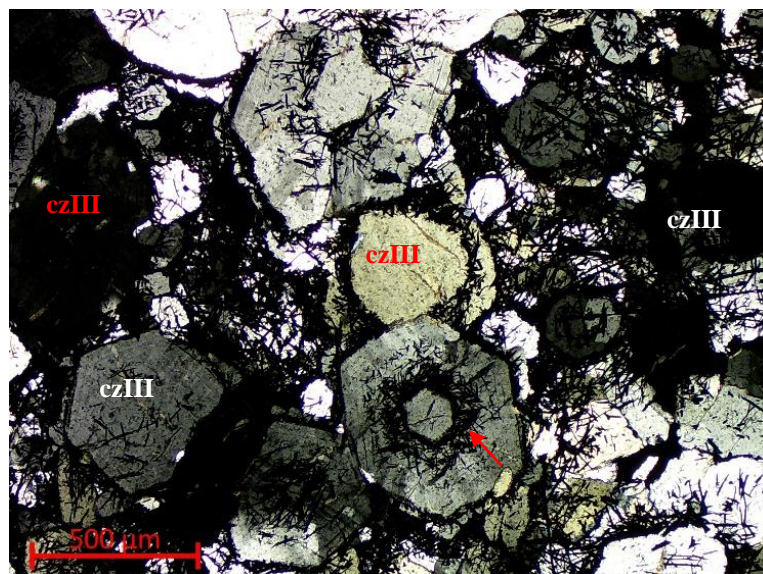


Figura N° 46: Fotomicrografía en luz transmitida y nículos cruzados. Se observa agregados de cristales de cuarzo (czIII) euhedrales a

subhedrales de tamaños hectomicrométricos, en algunos cristales se evidencia un zonamiento (flecha roja) muy marcado debido su crecimiento sucesivo, intercrecidos con minerales opacos lanceolados posible jamesonita. Ver muestra VM-06A

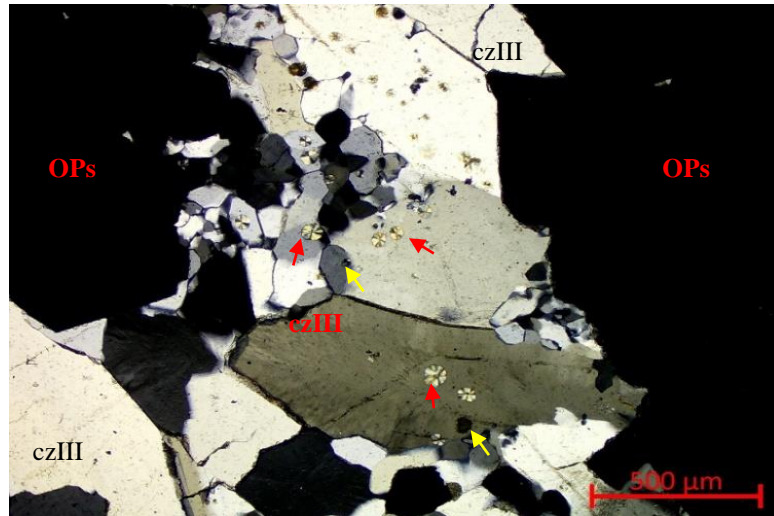


Figura N° 47: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa agregados de cristales de cuarzo (czIII) euhedrales a subhedrales de tamaños hectomicrométricos, en algunos cristales se evidencia unas motitas de pirofilita (flecha roja) como inclusiones y de manera escasa inclusiones circulares de sílice amorfa (flechas amarillas). Ver muestra VM-06A

## 7. PIROFILITA: $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Sericita de grano algo más grueso (VM-01) se presenta como intercrecimientos de CzII formando una masa que engloba a otros minerales (VM-03, VM-05, VM-06B y VM-10), en algunas ocasiones se encuentra intercrecido con turmalina (VM-07, VM-09)



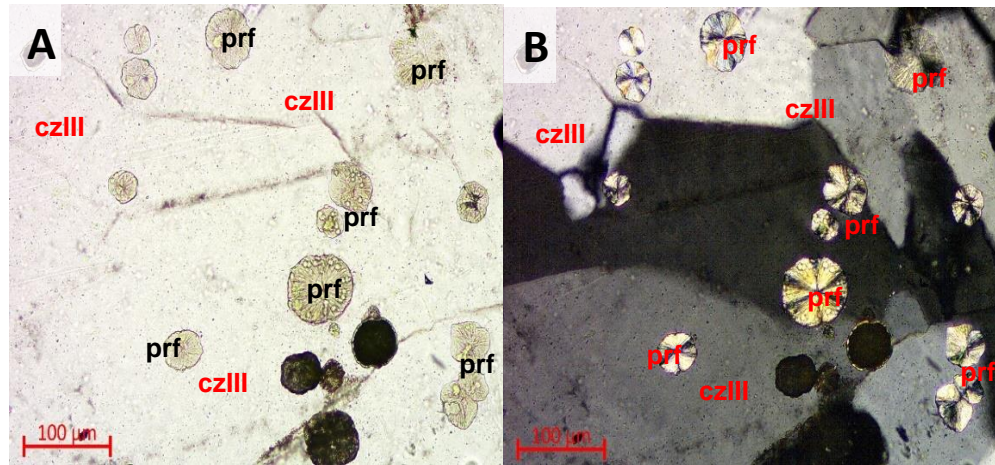


Figura N° 48: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Se observa cristales eu- a subhedrales de cuarzo (czIII) de tamaño hectomicrométrico, con un ligero moteado de cristales hojosos radiales de pirofilita (prf). **B:** La misma imagen de A, pero en luz transmitida y nícoles cruzados. Se evidencia que los colores de interferencia propios de cuarzo (czIII) con diseminación de motitas de pirofilita (prf).

## 8. MUSCOVITA: $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(F,OH)_2$

Ocurren esporádicamente como cristales subhedrales de tamaño decamicrométrico y asociado a la sericita (VM-02, VM-08 y VM-11), presentan inclusiones de rutilo, zircón y apatito. (VM-01).

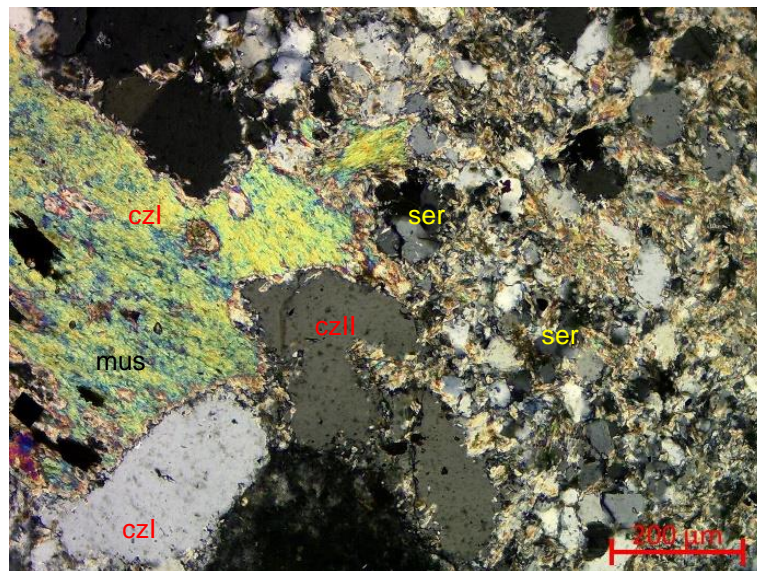


Figura N° 49: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa muscovita hectomicrométrica asociada con agregados micrométricos de sericita (ser) intercrecida con cristales anhedrales de cuarzo II. En la parte inferior se observa cristales hectomicrométricos de cuarzo (czI). Ver muestra VM-02A

## 9. SILICE AMORFA: $\text{SiO}_2$

Se presenta intercrecida con el cuarzo II (VM-06A) formando la masa que envuelve otros elementos y minerales; también en inclusiones en Cuarzo III (VM-06B).

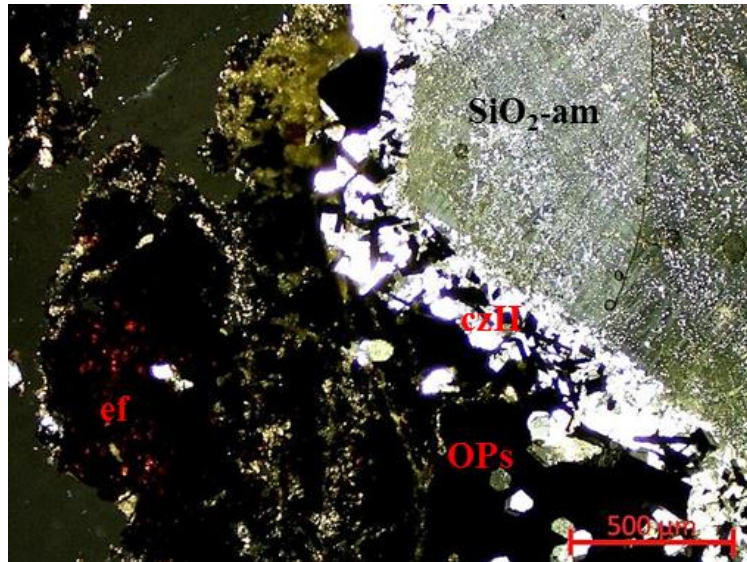


Figura N° 50: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa agregados hectomicrométricos de sílice amorfa ( $\text{SiO}_2\text{-am}$ ) con una corona de cristales de cuarzo micro-granular (czII).

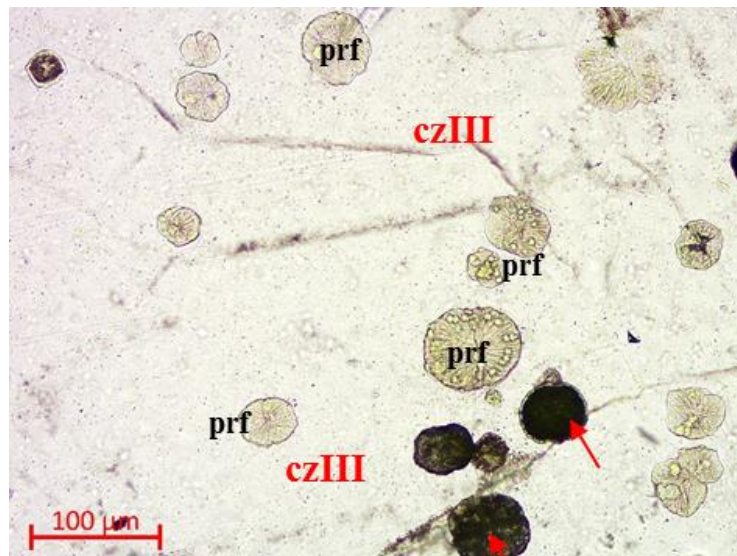


Figura N° 51: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Se observa cristales eu- a subhedrales de cuarzo (czIII) de tamaño hectomicrométrico, con un ligero moteado de cristales hojosos radiales de pirofilita (prf); así como a escasas esférulas de sílice amorfa (flechas rojas).



## 10. ZIRCON: $ZrSiO_4$

Muy escasos y ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamicrométrico (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11).

## 11. RUTILO: $TiO_2$

Muy escasos y ocurren diseminados en cristales anhedrales de tamaño decamicrométrico y en asociación con muscovita (VM-01) formando una textura poiquilítica (VM-02A, VM-08, VM-11)

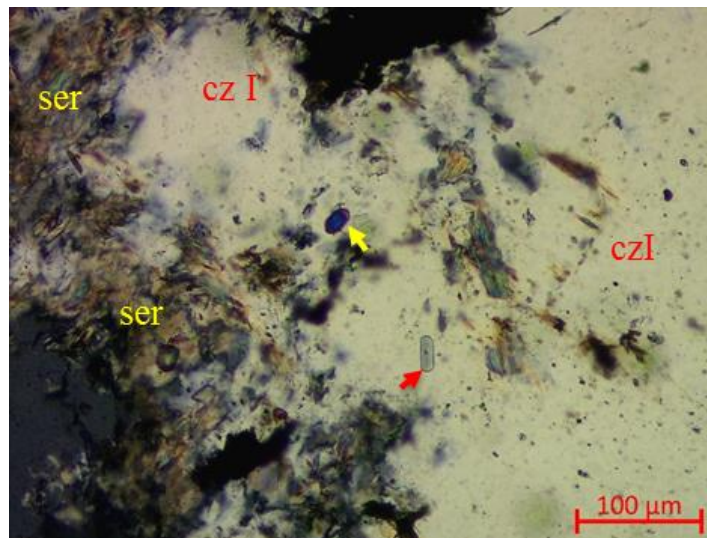


Figura N° 52: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa inclusiones de cristales euhedrales de tamaño micrométrico de zircón (flecha amarilla) y apatito (flecha roja), en un fenocristal de cuarzo (cz I) y en menor proporción agregados micrométricos de sericita (ser)

## 12. ANATASA: $TiO_2$

Se presenta de manera muy escasa y ocurren esporádicamente como solitarios cristales euhedrales de tamaños decamicrométricos (VM-03) como inclusiones en la turmalina.

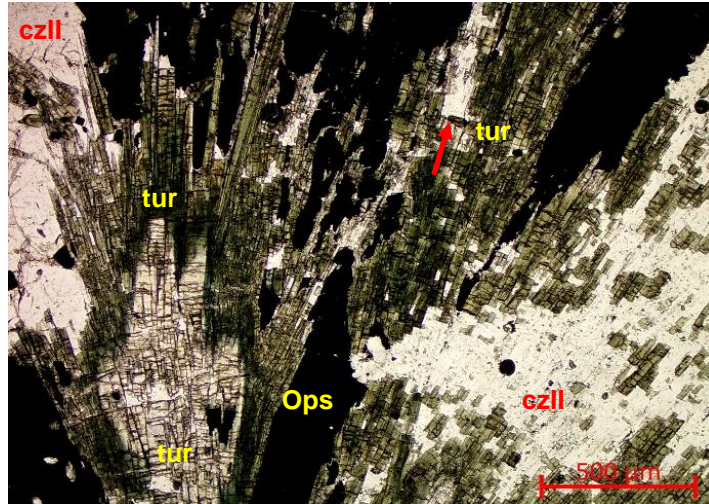


Figura N° 53: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Se observa agregados sub-radiados de turmalina (tur) de tamaños hecto-micrométricos, intercrecidos con cuarzo (czII) y minerales opacos (OPs). Asociado con cristales deca-micrométricos de anatasa? (flecha roja)

### 13. TURMALINA: $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Fe,Li})(\text{Al,Mg,Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})_4(\text{OH,F})_4$

Ocurre como parte importante de la veta (VM-07 y VM-09) y además ocasionalmente rellena algunas oquedades en forma de cristales prismáticos eu-a subhedrales (VM-02A). Suele ocurrir también rodeando fragmentos. En general microcristalina y de color negro (VM-05, VM-11), aunque también ocurre como cristales sub-radiados hectomicrométricos, bien desarrollados con algunas inclusiones de anatasas (VM-03) Asociada con la ocurrencia de sulfuros (VM-06A, VM-07, VM-09 y VM-10).

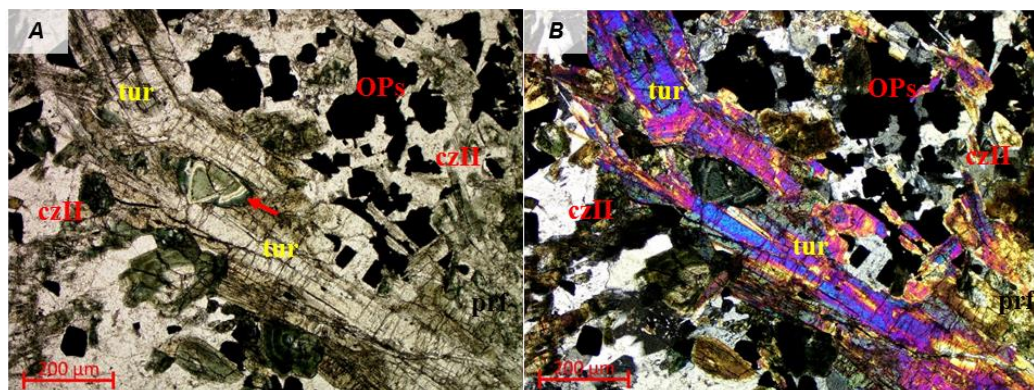


Figura N° 54: A: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos, se observa cortes longitudinales (casi incoloros) de la turmalina (tur), y cortes basales (colores verde oscuros) (flecha roja), que dan cuenta del fuerte pleocroísmo de la turmalina, asociados con cuarzo (czII). B: La misma vista de A en luz transmitida y nícoles cruzado, agregados de tamaño



hectomicrométricos de turmalina (tur) asociado con cuarzo (czII). Hacia la parte inferior derecha se observa agregados decamicrométricos de pirofilita (prf). En ambas fotomicrografías se observa cristales subhedrales de minerales opacos (OPs) posible pirita.

### 3.6.2. Minerales Opacos:

Los minerales mena que componen la veta se describen a continuación, el análisis de minerales opacos se realiza con luz reflejada, en nícoles paralelos y/o cruzados.

#### 14. PIRITA: FeS<sub>2</sub>

Ocurre como cristales sub- a euhedrales, en las venillas y disperso en la roca, Como agregados cristalinos de tamaños decamicrométricos a micrométrico, además e venillas de potencias decamicrométricas (VM-06A, VM-08), con oquedades y fracturas rellenas por agregados alargados y estriados hectomicrométricos de estibina (VM-02B, VM-10), en gran cantidad como playas decamicrométricas (VM-03) intercrecidas con Sulfosales de palta (VM-04, VM-05, VM-06B) intercrecidas en mayor proporción con turmalina (VM-07 Y VM-09)

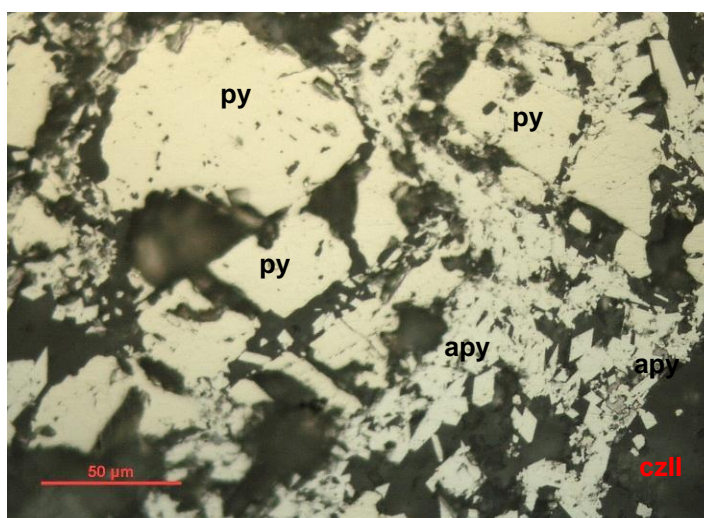


Figura N° 55: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Se observa agregados hectomicrométricos sud-hedrales a anhedrales de pirita (py) con presencia bandeada de cristales

decamicrométricos anhedrales de arsenopirita (apy) englobados en cuarzo (czII).

## 15. SULFOSALES DE PLATA:

Caracterizadas por los sulfuros que representan la mena de plata: Miargirita y la mena de plomo: Zinkerita. Ocurre muy frecuente, se presentan en playas hectomicrométricas:

- Miargirita:  $\text{AgSbS}_2$
- Zinkerita:  $\text{Pb}_9\text{Sb}_{22}\text{S}_{42}$

Se encuentran intercrecidos con agregados elongados de jamesonita (VM-02B, VM-10) y estibina o con inclusiones micrométricas (VM-03) de pirita o intercrecimientos de playas decamicrométricas (VM-04), en algunas ocasiones ocurren intercrecidos con las playas de esfalerita (VM-06B).

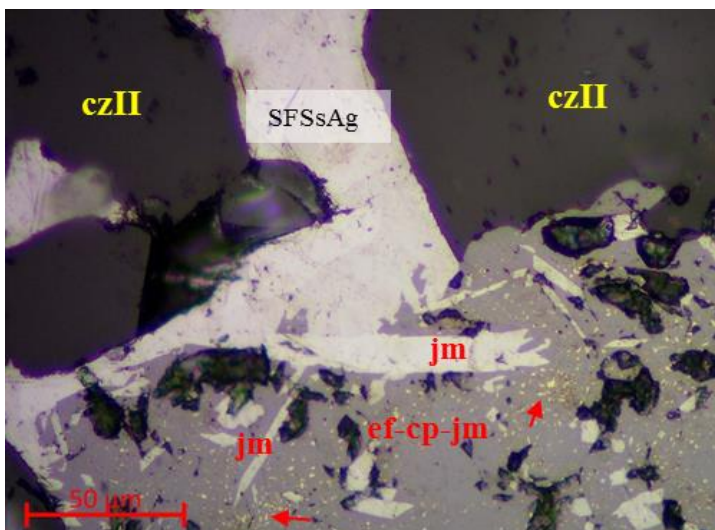


Figura N° 56: Fotomicrografía en luz reflejada y nicoles paralelos. Se evidencia cuerpos masivos hectomicrométricos de sulfosales (SFSsAg) intercrecida con masas de esfalerita (ef-cp), que contiene inclusiones de granos de calcopirita (flechas rojas), de cristales acicular-lanceolados de jamesonita (jm) englobados por gangas de cuarzo (czII)

## 16. ESTIBINA: $\text{SbS}_3$

Ocurre como agregados elongados hectomicrométricos, en algunas ocasiones con inclusiones micrométricas de arsenopirita (VM-02B).

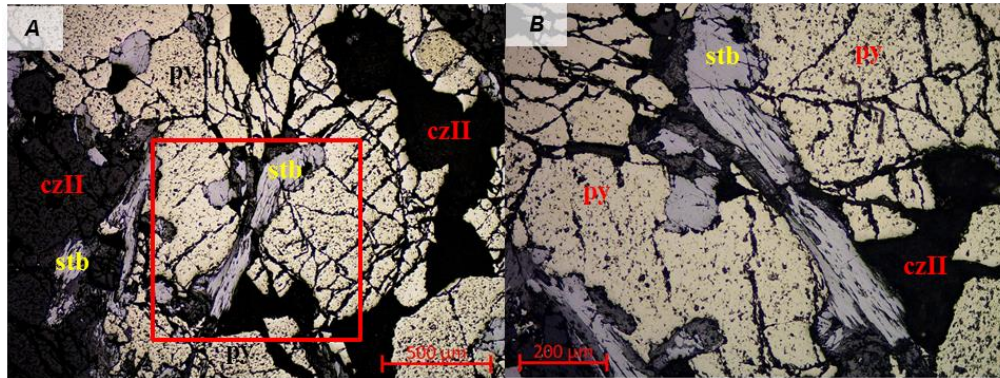


Figura N° 57: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. **A:** Se observa agregados alargados estriados hectomicrométricos de estibina (stb) relleno oquedades de la playas de pirita (py) intercrecidas con cuarzo (czII). **B:** Vista aumentada y girada 45° del recuadro rojo de la foto en A; mostrando detalles de la estibina (stb) y pirita (py); ambos intercrecidos con agregados hectomicrométricos de cuarzo (czII)

## 17. JAMESONITA: $Pb_4 FeSb_6 S_{14}$

Ocurre como agregados lanceolados intercrecidos con estibina y las Sulfosales de plata (VM-02B, VM-05), también se presenta como cristales solitarios acicular-lanceolados y como inclusiones en agregados de esfalerita (VM-06A, VM-10)

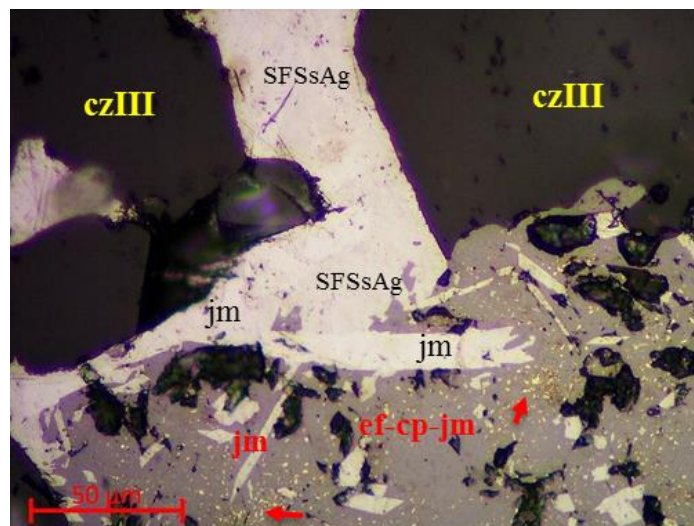


Figura N° 58: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos, Relleno intergranular de jamesonita (jm) intercrecida con sulfosales de plata (SFSsAg), entre cristales euhedrales de cuarzo (czIII); las sulfosales reemplazan al ensamble esfalerita-calcopirita-jamesonita (ef-cp-jm), donde la esfalerita contiene diminutas inclusiones de calcopirita (flechas rojas) e inclusiones alargadas de jamesonita.

## 18. ESFALERITA: $ZnS$



Ocurre como agregados hectomicrométricos algo botroidales de color marrón rojizo, en contacto con sericita, o se presenta como playas y/o masas que contiene inclusiones de calcopirita (VM-07) y de cristales acicular-lanceolados de jamesonita (VM-06A y 06B, VM-10).

### 19. CALCOPIRITA: $\text{CuFeS}_2$

Ocurre poco frecuente y ocurre únicamente como inclusiones en las playas hectomicrométricas de esfalerita intercrecidas con las Sulfosales de plata (VM-02B, VM-05, VM-06A)

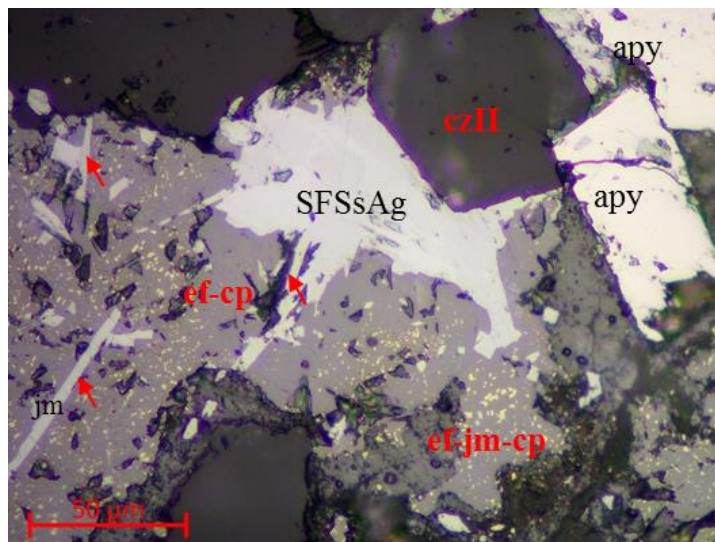


Figura N° 59: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos, donde se observa masas de esfalerita que contiene inclusiones de calcopirita (ef-cp), e inclusiones de cristales acicular-lanceolados (flechas rojas) de jamesonita (jm), intercrecido con cristales decamicrométricos de arsenopirita (apy) asociado con cuerpos masivos hectomicrométricos de sulfosales de plata (SFSsAg). En la parte superior derecha se evidencia agregados hectomicrométricos de cuarzo (czII).

### 20. ARSENOPIRITA: $\text{FeAsS}$

Se presenta como cristales decamicrométricos subhedrales, a modo de inclusiones en cuerpos masivos hectomicrométricos de Sulfosales de plata;

algunas veces intercrecida con calcopirita (VM-02B, VM-10) o como playas en cuarzo (VM-05, VM-06A). También ocurre como ocurre como solitarios cristales decamimétricos euhedrales (VM-06B)

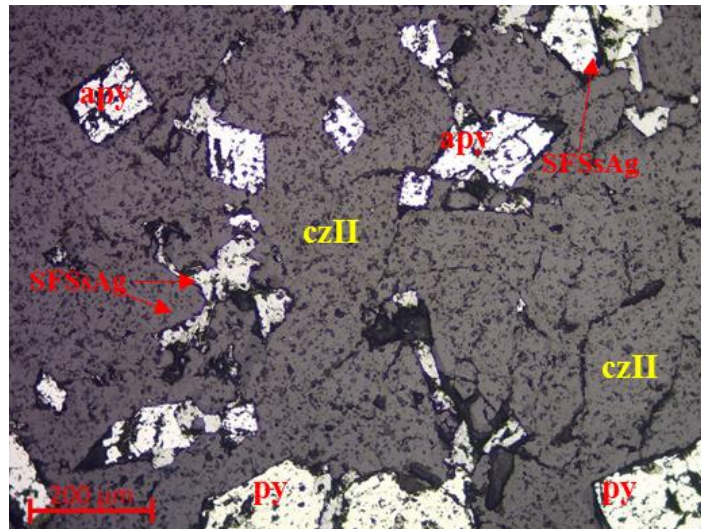


Figura N° 60: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Se observa cristales eu-a subhedrales decamimétricos de arsenopirita (apy) englobados por cuarzo (czII). En menor proporción ocurren sulfosales de plata (SFSSAg).

## 21. BORNITA: $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$

Ocurre muy escaso, se observa en islas de agregados deca-micrométricos con finas inclusiones de pirita, englobados por cuarzo micro granular. (VM-05)

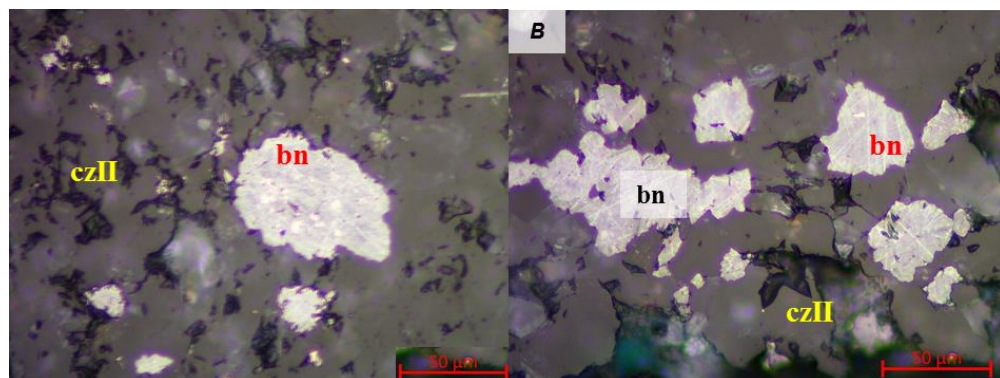


Figura N° 61: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. **A:** Se observa islas de agregados deca-micrométricos de bornita (bn) con finas inclusiones de pirita, englobados por cuarzo micro granular (czII) **B:** Se observa playas de bornita (bn) con inclusiones de pirita, englobados por cuarzo micro granular (czII).

## 22. COBRES GRISES: $(\text{Cu},\text{Fe})_{12}(\text{Sb},\text{As})_4\text{S}_{13}$

Muy escasos, ocurren como playas intergranulares o rellenando microfracturas; algunas veces intercrecido con sulfosales de plata (VM-05)

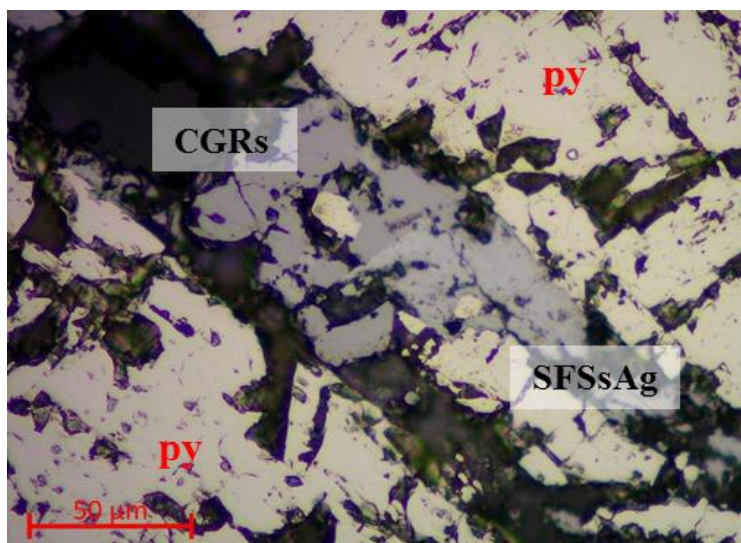


Figura N° 62: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Se observa playas decamétricas intergranulares de cobre grises (CGRs) intercrecidos con playas decamétricas de sulfosales de plata (SFSsAg), rellenando microfracturas de la pirita (py)

### 3.6.3. Minerales de Alteración:

Los minerales que se presentan líneas abajo son los que se han ido formando posterior a la depositación de los minerales que componen la veta, son minerales de origen supergeno producto de la meteorización, interperismo, etc. Se originan a partir de otro mineral, el análisis de estos minerales se realiza con luz transmitida y reflejada, en nícoles paralelos o cruzados.

Tabla N° 23:

*Minerales de alteración*

| MENAS             |             |  |
|-------------------|-------------|--|
| Nombre            | Abreviatura | Fórmula  |
| Arsenopirita      | apy         | FeAsS  |
| Bornita           | bn          | Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>                           |
| Calcopirita       | cp          | CuFeS <sub>2</sub>   |
| Cobregrises       | CGRs        | (Cu,Fe) <sub>12</sub> (Sb,As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub> |
| Covelita          | cv          | CuS  |
| Esfaletita        | ep          | ZnS  |
| Estibina          | stb         | SbS <sub>3</sub>   |
| <i>Jamesonita</i> | <i>jm</i>   | <i>Pb<sub>4</sub>FeSb<sub>6</sub>S<sub>14</sub></i>        |



|                            |             |   |
|----------------------------|-------------|---|
| <i>Jarosit</i>             | <i>jar</i>  | $KFe_{33+}(SO_4)_2(OH)_6$                 |
| <i>a</i>                   |             |   |
| <i>Pirita</i>              | <i>py</i>   | $FeS_2$                                   |
| <i>Sulfosales de Plata</i> | <i>SsAg</i> | $(Ag, Cu)_{16As_2S_{11}}$<br>(Pearceita)  |
|                            |             | $(Ag, Cu)_{16Sb_2S_{11}}$<br>(Polibasita) |

Fuente: Elaboración Propia

### 23. SERICITA: $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(F,OH)_2$

Ocurre principalmente en la matriz (VM-01 y VM-08), pseudomorfizando a los fenocristales de plagioclasas, y esporádicamente como agregados micro fibrosos subhedrales de tamaños deca-a micrométricos (VM-02 y VM-11). También se presenta intercrecida con cuarzo y pirofilita formando una masa que engloba todos los minerales opacos (VM-03, VM-05, VM-06B y VM-10).

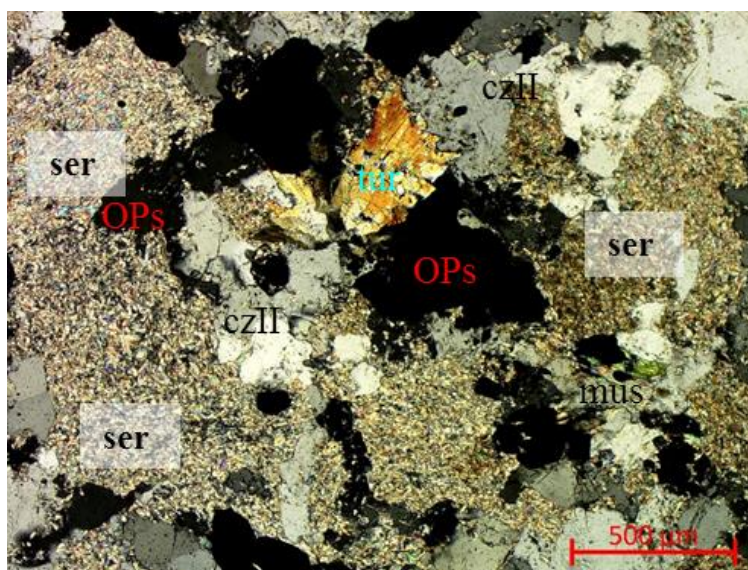
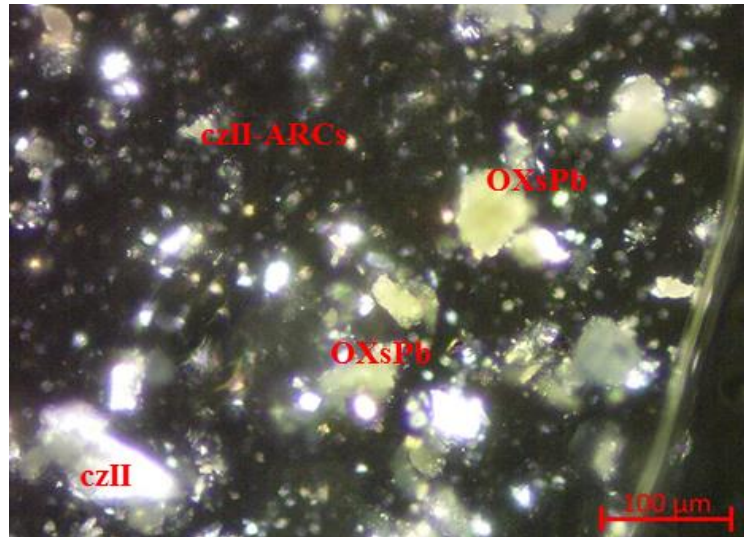


Figura N° 63: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa agregados de sericita (ser) asociados con agregados prismáticos radiados hecto-micrométricos de turmalina (tur) intercrecidos con cristales anhedrales de cuarzo (czII). Se observa cristales subhedrales de minerales opacos (OPs), posible pirita.

### 24. ARCILLAS: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ Hidroxi-alumo-silicatos, con o sin: Ca, Na, Mg y Fe

Los minerales ocurren tanto como producto de reemplazamiento de los fenocristales de plagioclasas, así como parte de la matriz (VM-06B). y se presentan en agregados micrométricos. Ocurren asociadas a las Oxisales de plomo.



*Figura N° 64:* Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se muestra agregados deca- a hectomicrométricos de tonalidades amarillas verdosas que corresponde a Oxisales de plomo (OXsPb), y en mayor cantidad se observa agregados de tamaño hectomicrométrico de cuarzo (czII) asociados con arcillas (ARCs).

## 25. OXISALES DE PLOMO

Se encuentran como agregados hectomicrométricos de color verdoso, intercrecidas con sericita; asociada con trazas de covelita (VM-02B). Y en agregados hectomicrométricos asociados con arcillas (VM-06B)

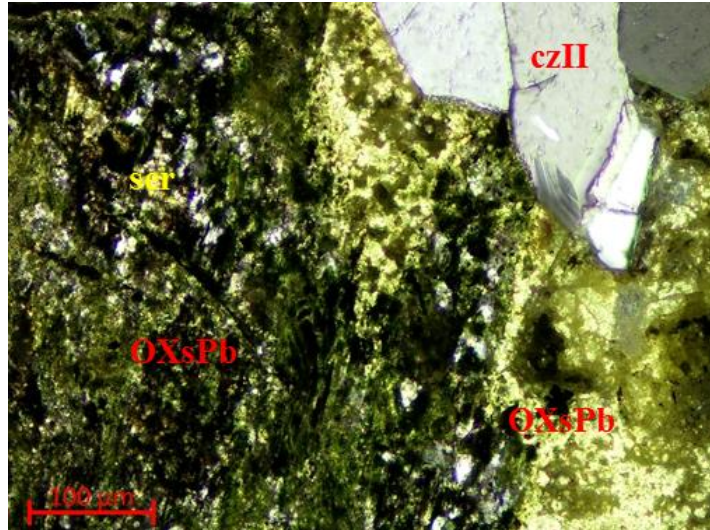


Figura N° 65: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa un agregado hectomicrométrico de oxisales de plomo (OXsPb) englobando microgrumos de sericita (ser). En la parte superior derecha presencia de cristales subhedrales de cuarzo (czII).

## 26. CLORITAS: $(Mg,Al,Fe)_{12}[(Al,Si)_8O_{20}](OH)_{16}$

Ocurren de manera escasa en cristales anhedrales y reemplazan a los fenocristales de plagioclasas, anfíboles y biotita. También ocurren asociados a la matriz (VM-11)

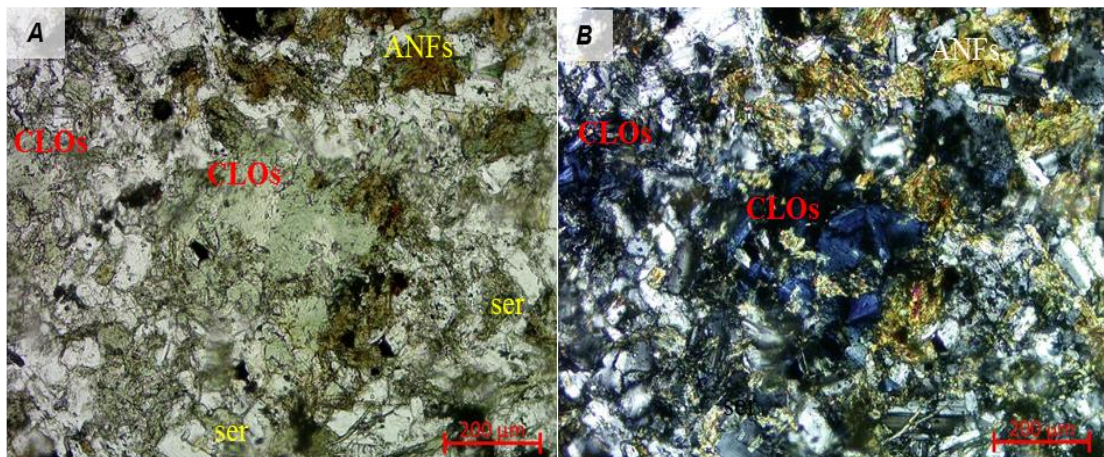


Figura N° 66: A- Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles paralelos. Se observa agregados hectomicrométricos de plagioclasas intercrecidas con agregados decamicrométricos de sericita (ser), Presencia de cristales hectomicrométricos de cloritas (CLOs) B. La misma vista de A , pero en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa el color característico de interferencia de los cristales hectomicrométricos de las cloritas (CLOs).

## 27. JAROSITA: $KFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$



Ocurre de manera muy escasa, como grumos en el cuarzo II (VM-05)

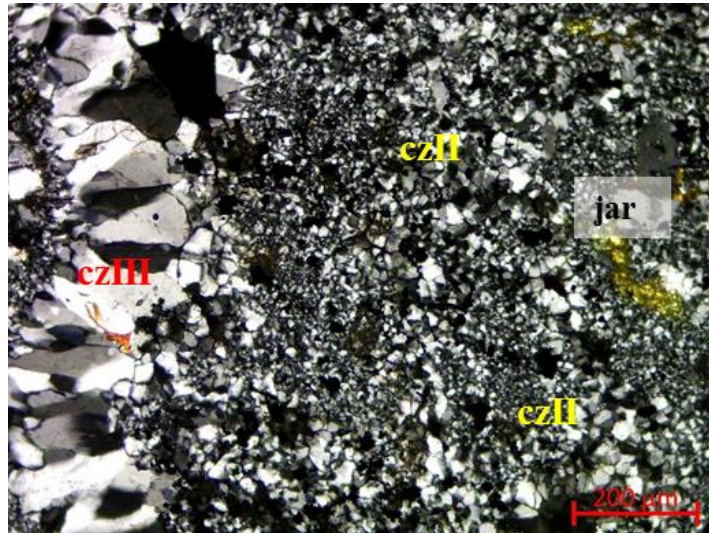


Figura N° 67: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Predomina los agregados granulares anhedrales a subhedrales de cuarzo II (czII). A la izquierda se evidencia cristales euhedrales a subhedrales de cuarzo III (czIII). Presencia de escasos grumos hecto-micrométricos de jarosita (jar) de tonalidad verdosa.

## 28. COVELITA: CuS

Ocurre como agregados decamicrométricos irregulares acompañadas de gangas no identificadas (VM-02B)

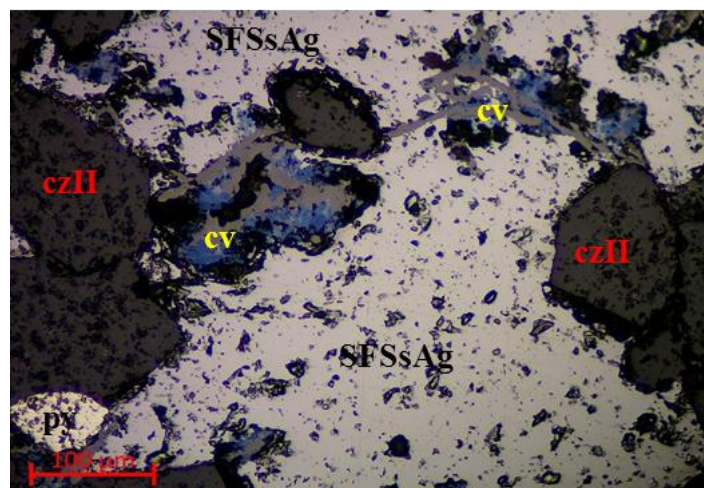


Figura N° 68: Fotomicrografía en luz reflejada y nícoles paralelos. Playa hectomicrométrica de sulfosales de Ag (SFSsAg), intercrecida con cristales subhedrales de cuarzo (czII). Presencia de agregados decamicrométricos irregulares de covelita (cv), acompañadas de gangas no identificadas. En la parte inferior izquierdas. Hacia la esquina inferior izquierda se observa un cristal subhedral de piritita (py).

## 29. LEUCOXENO: TiO<sub>2</sub>

Se presenta de manera muy escasa y ocurren esporádicamente como nubarrones, asociado a los cristales rutilo (VM-08)

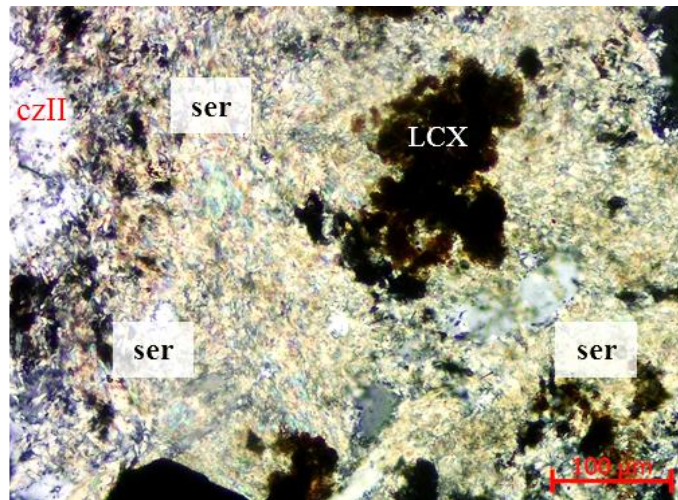


Figura N° 69: Fotomicrografía en luz transmitida y nícoles cruzados. Se observa agregados hectomicrométrico de sericita (ser). En la parte central se muestra un agregado hectomicrométrico de leucoxeno (LCX)

A continuación, se presenta un cuadro, con la lista de todos los minerales identificados, su abreviatura, peso específico, y las observaciones, que comprende la descripción detallada cada mineral identificado, forma de ocurrencia, algunos ensambles y el intercrecimientos de los mismos:

Tabla N° 24:

*Descripción de los minerales en microscopio óptico*

| Nombre    | Abreviatura | Peso Específico             | Observaciones  |
|-----------|-------------|-----------------------------|--|
| Anatasa   | ats         | 3.9 g/cm <sup>3</sup>       | Muy escasos y ocurren esporádicamente como solitarios cristales euhedrales de tamaños decamicrométricos (VM-03) como inclusiones en la turmalina.  |
| Anfiboles | ANFs        | 3.1 - 3.3 g/cm <sup>3</sup> | Los anfiboles ocurren como solitarios fenocristales euhedrales; son reemplazados parcial- o totalmente por cloritas (VM-11)  |
| Apatito   | ap          | 3.2 g/cm <sup>3</sup>       | Ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamicrométrico (VM-01, VM-02A, VM-08, VM-11).   |
| Arcillas  | ARCs        | 2.6 - 2.8 g/cm <sup>3</sup> | Ocurren tanto como producto de reemplazamiento de los fenocristales de plagioclasas, así como parte de la matriz (VM-06B). y se presentan en agregados micrométricos. Ocurren asociadas a las Oxisales de plomo. |



|                     |        |                                 |  |
|---------------------|--------|---------------------------------|--|
| <b>Arsenopirita</b> | apy    | 5.9 - 6.2<br>g/cm <sup>3</sup>  | Se presenta como cristales decamicrométricos subhedrales, ¿a modo de inclusiones en cuerpos masivos hectomicrométricos de sulfosales?; algunas veces intercrecida con calcopirita (VM-02B, VM-10) o como playas en cuarzo (VM-05, VM-06A). También ocurre como solitarios cristales decamicrométricos euhedrales (VM-06B)  |
| <b>Biotita</b>      | bt     | 2.7 - 3.4<br>g/cm <sup>3</sup>  | Ocurre esporádicamente y reemplaza algunos fenocristales de anfíboles, suele estar alterada por cloritas. (VM-11)  |
| <b>Bornita</b>      | bn     | 4.9 - 5.3<br>g/cm <sup>3</sup>  | Muy escaso, se observa en islas de agregados decamicrométricos con finas inclusiones de pirita, englobados por cuarzo micro granular. (VM-05)  |
| <b>Calcopirita</b>  | cp     | 4.19 g/cm <sup>3</sup>          | Poco frecuente y ocurre como inclusiones en las playas hectomicrométricas de esfalerita intercrecidas con sulfosales de Ag (VM-02B, VM-05, VM-06A) y arsenopirita formando cristales micrométricos subhedrales.  |
| <b>Cobregrietas</b> | CGRs   | 4.6 - 5.2<br>g/cm <sup>3</sup>  | Muy escasos, ocurren como playas intergranulares o rellenando microfracturas; algunas veces intercrecido con sulfosales de plata. (VM-05)  |
| <b>Cloritas</b>     | CLOs   | 2.6 - 3.3<br>g/cm <sup>3</sup>  | Ocurren de manera escasa en cristales anhedrales y reemplazan a los fenocristales de plagioclasas, anfíboles y biotita. También ocurren asociados a la matriz (VM-11)  |
| <b>Covelita</b>     | cv     | 4.6 - 4.76<br>g/cm <sup>3</sup> | Ocurre como agregados decamicrométricos irregulares acompañadas de gangas no identificadas (VM-02B)  |
| <b>Cuarzo</b>       | cz-I   | 2.65 g/cm <sup>3</sup>          | Ocurre como fenocristales con inclusiones fluidas zircón y sulfatos (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11)   |
|                     | cz-II  | 2.65 g/cm <sup>3</sup>          | Ocurre como cristales anhedrales en la matriz (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11) suele estar asociado a la sericita, muscovita y pirofilita (VM-06A y 06B), o intercrecidos con playas decamicrométricas de sulfuros cristalizados (VM-04, VM-05 y VM-10).   |
|                     | cz-III | 2.65 g/cm <sup>3</sup>          | Rellenando algunos espacios vacíos, se asocia con pirita y contiene inclusiones fluidas y cristales de zircon (VM-01). Como diminutos cristales prismáticos de jamesonita marcando el zonamiento (VM-04), Intercrecido con Sulfosales de Plata (VM-05) además presenta algunas inclusiones fluidas e intercrecimientos con agregados lanceolados de jamesonita (VM-06A y VM-10) en ocasiones también presenta inclusiones de pirofilita (VM-06B) |
| <b>Esfaletita</b>   | ep     | 3.9 - 4.1<br>g/cm <sup>3</sup>  | Ocurre como agregados hectomicrométricos algo botroidales de color marrón rojizo, en contacto con sericita, también se presenta como playas y/o masas que contiene inclusiones de calcopirita (VM-07) y de cristales acicular-lanceolados de jamesonita (VM-06A y 06B, VM-10).   |
| <b>Estibina</b>     | stb    | 4.63 g/cm <sup>3</sup>          | Ocurre como agregados elongados hectomicrométricos, en algunas ocasiones con inclusiones micrométricas de arsenopirita (VM-02B).   |

|                            |  |                               |  |
|----------------------------|--|-------------------------------|--|
| <b>Jamesonita</b>          | jm   | 5.76 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre como agregados lanceolados intercrecidos con estibina y las Sulfosales de plata (VM-02B, VM-05), también se presenta como cristales solitarios acicular-lanceolados y como inclusiones en agregados de esfalerita (VM-06A, VM-10)   |
| <b>Jarosita</b>            | jar  | 3.1 - 3.3 g/cm <sup>3</sup>   | Escasa ocurrencia, como grumos en el cuarzo II (VM-05)   |
| <b>Leucoxeno</b>           | LCXs   | 3.5 - 4.5 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurre como nubarrones, asociado a los cristales rutilo (VM-08)  |
| <b>Miargirita</b>          | mig  | 5.29 g/cm <sup>3</sup>        | Mena de plata, se presentan en playas hectomicrométricas, identificadas como Sulfosales de Plata asociada con zinkerita; se encuentran intercrecidos con agregados elongados de jamesonita (VM-02B, VM-10) y estibina o con inclusiones micrométricas (VM-03) de pirita e intercrecimientos de playas decamicrométricas (VM-04), en algunas ocasiones ocurren intercrecidos con las playas de esfalerita, y pirita (VM-06B)  |
| <b>Muscovita</b>           | mus  | 2.8 g/cm <sup>3</sup>         | Ocurren esporádicamente como cristales subhedrales de tamaño decamicrométrico y asociado a la sericita (Foto_VM-02, VM-08 y VM-11), presentan inclusiones de rutilo, zircón y apatito. (Foto_VM-01).   |
| <b>Óxidos de plomo</b>     | OXsPb  | 4.6 - 7.3 g/cm <sup>3</sup>   | Se encuentran como agregados hectomicrométricos de color verdoso, intercrecidas con sericita; asociada con trazas de covelita (VM-02B).  |
| <b>Pirita</b>              | Py   | 5.0 g/cm <sup>3</sup>         | Ocurre como cristales sub- a euhedrales, en las venillas y disperso en la roca, Como agregados cristalinos de tamaños decamicrométricos a micrométrico, además e venillas de potencias decamicrométricas (VM-06A, VM-08), con oquedades y fracturas rellenas por agregados alargados y estriados hectomicrométricos de estibina (VM-02B, VM-10), en gran cantidad como playas decamicrométricas (VM-03) intercrecidas con Sulfosales de plata (VM-04, VM-05, VM-06B) intercrecidas en mayor proporción con turmalina (VM-07 Y VM-09) |
| <b>Pirofilita</b>          | Prf  | 2.85 g/cm <sup>3</sup>        | Sericita de grano algo más grueso (VM-01) se presenta como intercrecimiento del CzII formando una masa que engloba a otros minerales (VM-03, VM-05, VM-06B y VM-10), en algunas ocasiones se encuentra intercrecido con turmalina (VM-07, VM-09)   |
| <b>Piroxeno</b>            | (Ca,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> | 3 - 4 g/cm <sup>3</sup>       | Mineral escaso, ocurren como fenocristales relícticos subhedrales de tamaño hecto- a decamicrométrico (VM-11) en la matriz.  |
| <b>Plagioclasas</b>        | PGLs-I   | 2.61 - 2.76 g/cm <sup>3</sup> | Ocurren como cristales euhedrales con relleno intergranular de cuarzo debilmente alterados por sericitas (VM-11).  |
| <b>Rutilo</b>              | Rt   | 4.23 g/cm <sup>3</sup>        | Muy escasos y ocurren diseminados en cristales anhedrales de tamaño decamicrométrico y en asociación con muscovita (VM-01) formando una textura poiquilitica (VM-02A, VM-08, VM-11)  |
| <b>Sulfosales de Plata</b> | SFSsAg   | 6.15 g/cm <sup>3</sup>        | Muy frecuente se presentan en playas hectomicrométricas, identificadas como miargirita asociada con zinkerita.   |

|                      |        |                               |  |
|----------------------|--------|-------------------------------|--|
| <b>Sericita</b>      | Ser    | 2.85 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre principalmente en la matriz (VM-01 y VM-08), seudomorfizando a los fenocristales de plagioclasas, y esporádicamente como agregados microfibrosos subhedrales de tamaños deca- a micrométricos (VM-02 y VM-11). También se presenta intercrecida con cuarzo y pirofilita formando una masa que engloba todos los minerales opacos (VM-03, VM-05, VM-06B y VM-10)   |
| <b>Sílice amorfa</b> | sil-am | 2.63 g/cm <sup>3</sup>        | Se presenta intercrecida con el cuarzo II (VM-06A) y también en inclusiones en Cuarzo III (VM-06B).  |
| <b>Turmalina</b>     | Tur    | 2.98 - 3.26 g/cm <sup>3</sup> | Ocurre como parte importante de la veta (VM-07 y VM-09) y además ocasionalmente rellena algunas oquedades en forma de cristales prismáticos eu- a subhedrales (VM-02A). Suele ocurrir también rodeando fragmentos. En general microcristalina y de color negro (VM-05, VM-11), aunque también ocurre como cristales sub-radiados hectomicrométricos, bien desarrollados con algunas inclusiones de anatasas (VM-03) Asociada con la ocurrencia de sulfuros (VM-06A, VM-07, VM-09 y VM-10). |
| <b>Zinkerita</b>     | Znk    | 5,12 - 5,35 g/cm <sup>3</sup> | Mena de plomo, se presentan en playas hectomicrométricos, asociada con miargirita; se encuentran intercrecidos con agregados elongados de jamesonita (VM-02B, VM-10) y estibina o con inclusiones micrométricas (VM-03) de pirita e intercrecimientos de playas decamicrométricas (VM-04), en algunas ocasiones ocurren intercrecidos con las playas de esfalerita, y pirita (VM-06B).   |
| <b>Zircón</b>        | Zir    | 4.6 - 4.7 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamicrométrico (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11).  |

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se presenta la siguiente figura muestra la secuencia de depositación de los minerales que dan formación a la Veta Milagros; la cual, sin embargo, se debe considerar como una aproximación, debido al poco número de muestras estudiadas.

### 3.6.4. Secuencia de formación de los minerales de la Veta Milagros

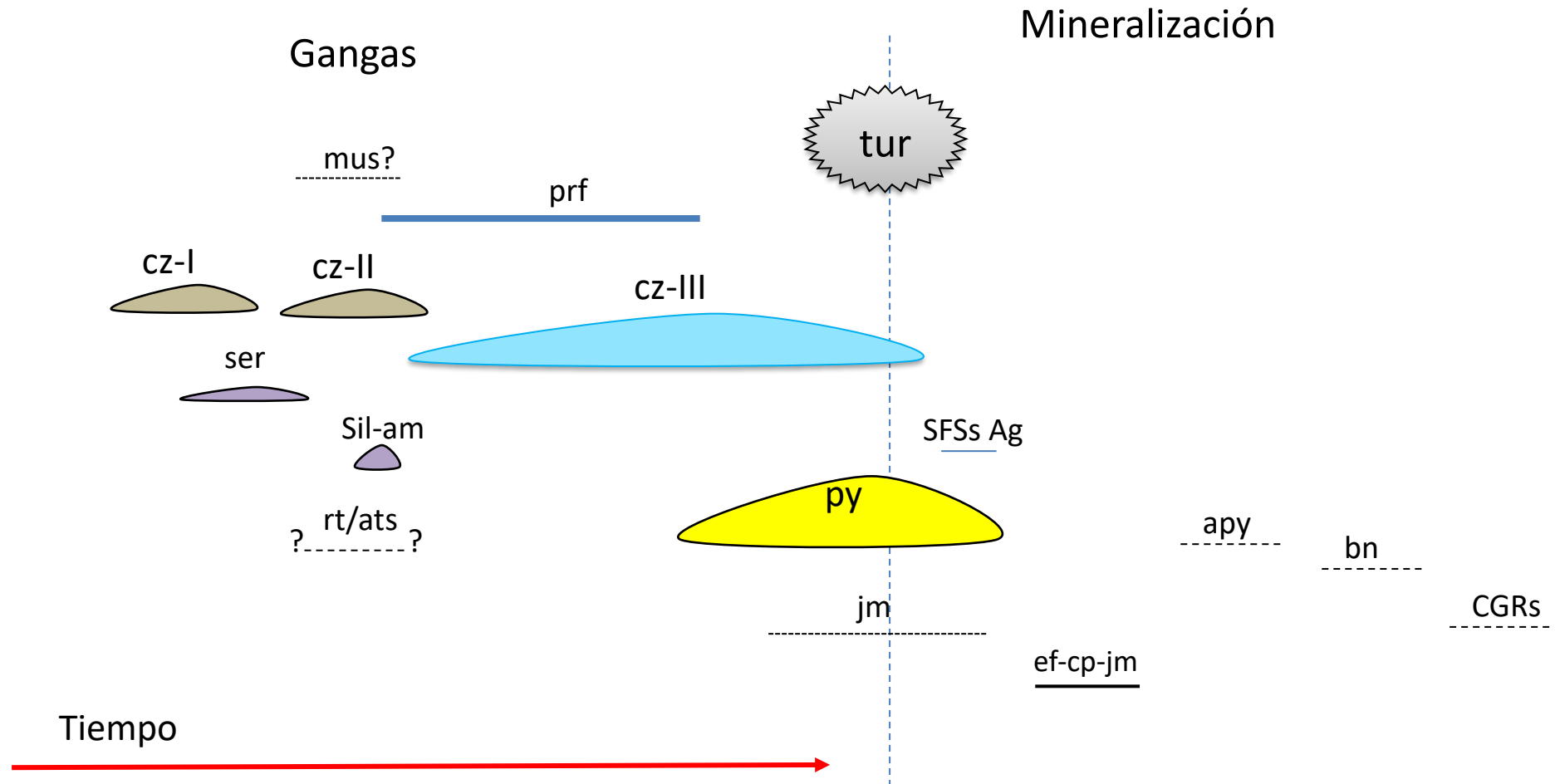


Figura N° 70: Secuencia de formación de la Veta Milagros

Observaciones: La secuencia mostrada es una primera aproximación, se requiere de más estudios y muestras adicionales para definir una secuencia más realista. Las Sulfosales de plata (SFSsAg) posiblemente sean del grupo de la polibasita-pearceita?. Sería muy adecuado además contar con los respectivos análisis químicos multielementales para poder determinar la firma geoquímica y correlacionarla con los diferentes ensambles mineralógicos, Ya que son las portadoras de Ag.

### 3.6.5. Texturas desde el punto de vista de fragmentación

En el presente cuadro se presenta un resumen de las 13 muestras de mano seleccionadas para la descripción de texturas a nivel macroscópico teniendo en cuenta el punto de vista de fragmentación para entender su importancia al momento de la voladura, clasificándolas como: competentes, subcompetentes e incompetentes. También se clasifica de acuerdo con los porcentajes de mineral que componen cada roca.

Tomando como modelo la clasificación textural de Canchaya (1996) que clasifica las rocas desde incompetentes a competentes, siguiendo una clasificación que se basa en la observación de las texturas macroscópicas.

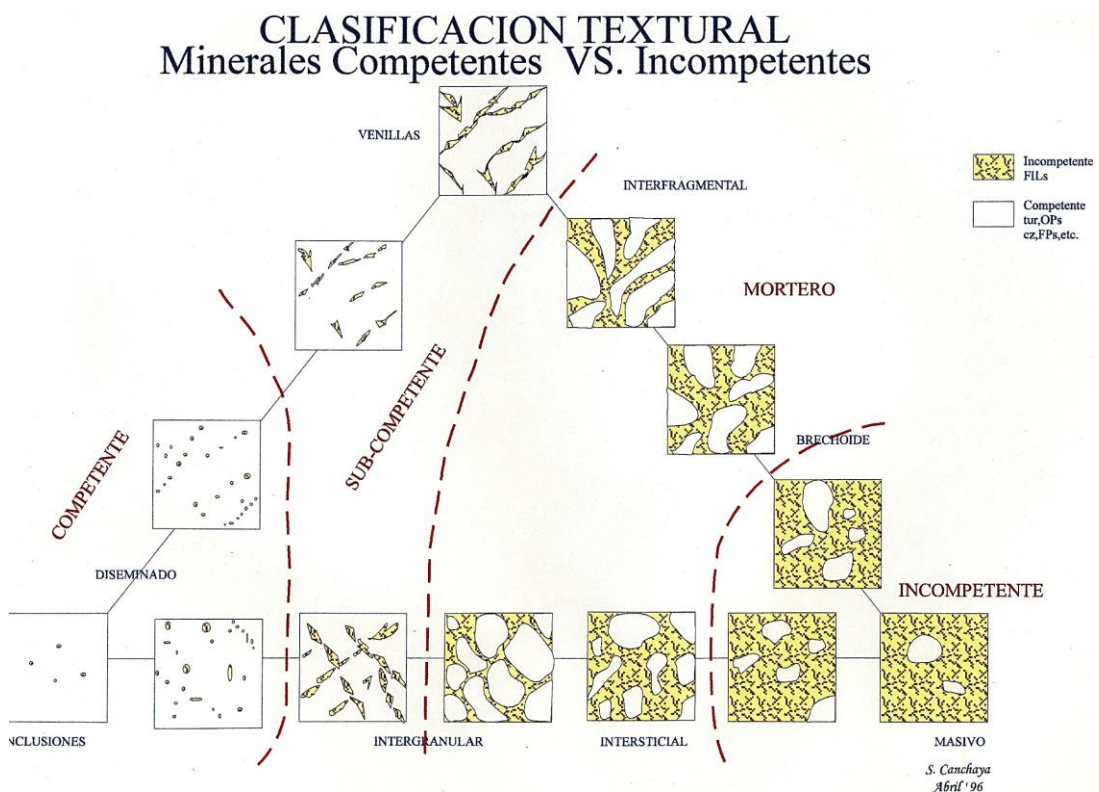


Figura N° 71: Clasificación Textural. Minerales Competentes Vs. Incompetentes. Tomado de Canchaya, 1996.



Las texturas más comunes de la roca encajonante son porfirítica, estas se han reconocido por la abundancia de intercrecimientos de plagioclasas de tipo oligoclasa, cuarzo y minerales máficos.

Para el caso de las muestras de la veta se muestran texturas bandeadas-microgranular, esta textura se caracteriza por la alternancia de bandas estrechas y subparalelas entre sí, bandas sucesivas, que se distinguen por diferencias de textura, proporciones minerales y / o color. Por lo general, estas bandas se desarrollan simétricamente a partir de ambas paredes de una fisura.


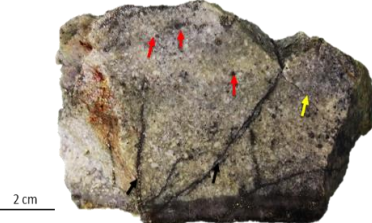
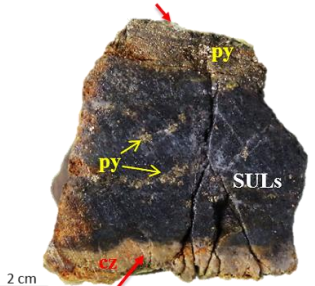
Se caracterizó muestras representativas de la veta (VM-02B al VM-10) compuestas principalmente por el bandeamiento de sulfuros y las sulfosales de plata, el sulfuro más abundante es la pirita, presente en todas las muestras con un porcentaje mayoritario de 35% aproximadamente en la mayoría de muestras. Y muestras de la roca caja de la veta parcialmente alterada (VM-01, VM-02A y VM-08) en donde se observa fenocristales de plagioclasas muy alterados, seudomorfizados por sericita asociada a muscovita.

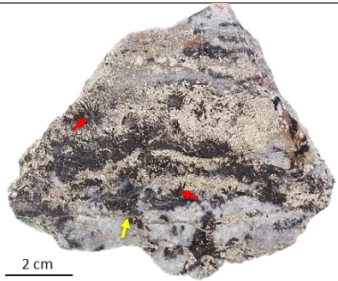
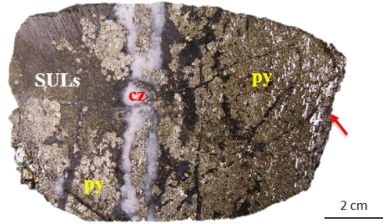
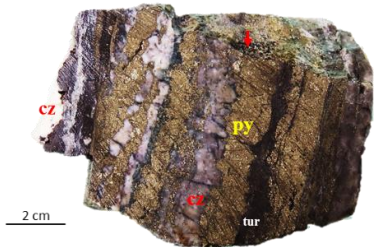

Todas las muestras fueron sometidas a tinción por feldespatos potásicos, usando baños sucesivos de ácido fluorhídrico y Co-nitrito de Na. Todas las muestras dieron tinción negativa, por lo que se ha descartado la presencia de este mineral en el resto de las muestras.


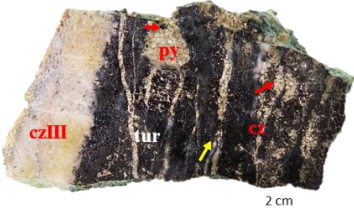
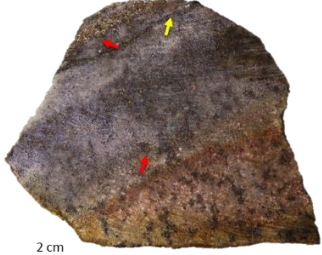
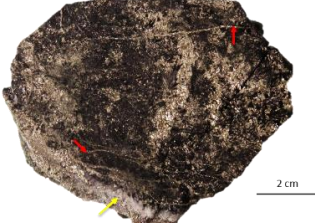
En el siguiente cuadro se resume los resultados del estudio microscópico de las 13 muestras, el código de cada muestra, la competencia de cada muestra según el criterio antes mencionado, la textura macroscópica, la clasificación petrográfica, los porcentajes de minerales que las componen y algunas observaciones importantes:

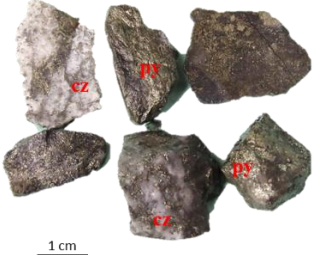
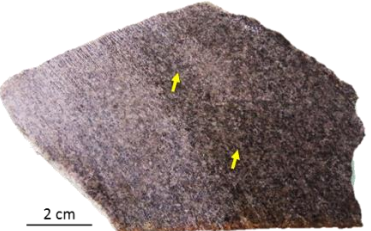
Tabla N° 25:

*Clasificación de las texturas*

| Muestra | Competencia   | Textura   | Minerales  |  | Observaciones   | Fotografía   |
|---------|---------------|-----------|--|--|---|--|
|         |               |           | Abundantes   | Escasos                                    |   |  |
| VM-01   | Competente    | Porfírica | Ser (42%), czI (20%), czII (15%), mus (10%), czIII (5%), py (5%) | PGLsII, zir, ap, rt, prf?.                 | Roca con moldes de fenocristales de plagioclasa alteradas, englobadas principalmente por una masa de sílice afanítica gris clara blanquecina, con diseminación de pirita y otros sulfuros. Ocurrencia esporádica de muscovita con inclusiones de rutilo, en menor proporción zircón y apatito. También se observa, algunos moldes de fenocristales pseudomorfizados por sericita,   |   |
| VM-02A  | Subcompetente | Porfírica | ser (45%), czII(20%), czI (15%), py (8%), mus (5%), tur (5%)     | ARCs, SILam, rt, zir, ap, czIII, ZEOs, mel | Roca porfírica compuesta por fenocristales de plagioclasas, de tamaños milimétricos a sub-milimétricos muy alterados, pseudomorfizados por sericita asociada a muscovita. Presenta dos tipos de venillas de potencias milimétricas unas con rellenos de cuarzo y las otras con relleno de sulfuros. En toda la muestra hay ocurrencia de micro-diseminación de grumos de sulfuros especialmente pirita.   |   |
| VM-02B  | Subcompetente | Bandeada  | czII (45%), SFSsAg (20%), py (18%), OXsPb (15%)                  | cp, apy, stb, cv                           | La muestra corresponde a una masa gris oscura compuesta por sulfuros y sulfosales oscuros a negros, con diseminación y grumos de pirita; en algunas ocasiones se evidencia cristales prismáticos alargados de tonalidad gris clara con brillo metálico que corresponden a estibina. Se observa un bandeamiento de pirita y cuarzo que bordean a los sulfuros. Se logró divisar pequeños ojos de agregados prismáticos radiados de turmalina asociados con pirita. |  |

|               |              |                   |   |                                 |   |   |
|---------------|--------------|-------------------|---|---------------------------------|---|---|
| <b>VM-03</b>  | Incompetente | Bandeada          | py (30%), czIII (29%), tur (25%), ser (10%), SFSsAg (5%)                      | prf, zir, ap, rt, ats           | La muestra corresponde a una roca de textura bandeada, la masa principal de la muestra está compuesta en su mayoría por cuarzo, turmalina y pirita. Bajo la lupa se evidencia la ocurrencia de agregados prismáticos radiados algo aciculares de turmalina con diseminación de pirita. Presencia de pirita en toda la muestra, como playas, diseminación y formando venillas de potencia submilimétricas.                                       |    |
| <b>VM-04</b>  | Incompetente | Bandeada          | py (48%), stb, jm (15%), czIII (15%), czII (14%), SFSsAg (7%)                 | ef, gn, cp                      | La muestra corresponde a una masa silícea gris oscura intercrecida con sulfuros oscuros y agregados centimétricos de pirita, formando una textura bandeada; la masa principal de la muestra está compuesta por sulfuros especialmente pirita, muy cristalizada en algunas zonas y oquedades. También se presenta un ligero bandeamiento de cuarzo hialino. Presencia de pirita en toda la muestra, como diseminación y agregados centimétricos. |    |
| <b>VM-05</b>  | Incompetente | Bandeada          | py (42%), czII (15%), czIII (10%), SFSsAg (10%), prf (9%), tur (7%), ser (5%) | stb, CGRs, cp, apy, jm, bn, jar | Muestra de textura bandeada, de pirita alternando con turmalina negra y cuarzo lechoso. En algunas ocasiones se presenta oquedades tapizadas por pirita cristalizada.   |   |
| <b>VM-06A</b> | Incompetente | Bandeada y cocada | czIII (35%), py (30%), ef-jm-cp (15%), SFSsAg (10%), apy (5%), cz II (4%)     | ser, prf, SiO2-am, tur          | La muestra corresponde a una masa gris oscura compuesta por relleno de sulfuros y sulfosales con diseminación masiva o grumos de pirita. Textura cocada con una corona de cuarzo hialino a lechoso, englobados por una masa de sulfuros compuesta por esfalerita, jamesonita y calcopirita; a veces con presencia de diminutos cristales prismáticos alargados de estibina.   |  |

|               |               |                      |  |                            |  |   |
|---------------|---------------|----------------------|--|----------------------------|--|---|
| <b>VM-06B</b> | Incompetente  | Bandeada             | py (37%), czIII (20%), ser (19%), ef (7%), czII (7%), SFSsAg (3%), jm (3%), apy (2%) | mus, prf, cp, OXsPb, ARCs. | Compuesta por sulfuros masivos, especialmente pirita, en arreglos bandeados con cuarzo y zonas ricas en sulfosales, de colores gris oscuros. Algunas oquedades han sido tapizadas por pirita bien cristalizada; venillas compuestas por cuarzo hialino con pirita. En algunas zonas se observa diminutos cristales de jamesonita.  |    |
| <b>VM-07</b>  | Incompetente  | Cocada algo bandeada | tur (40%), py (30%), czIII (20%), ef (5%), prf (4%)                                  | Cp                         | Roca compuesta por una masa negra con sulfuros y bandeamiento centimétricos de pirita. La masa principal de la muestra está compuesta por turmalina negra asociada a sulfuros principalmente pirita, en algunas zonas muy cristalizada y tapizando oquedades. Con bandeamiento de cuarzo micro granular de tonalidad blanquecina algo cremosa con diseminación de grumos de pirita.  |    |
| <b>VM-08</b>  | Subcompetente | Porfírica            | ser (45%), czII (20%), czI (15%), py (8%), mus (5%), tur (5%)                        | zir, ap, rt, LXC           | Roca porfírica compuesta por fenocristales de plagioclasas muy alterados, pseudomorfizados por sericita asociada a muscovita. Presenta microvenillas con rellenos de cuarzo y las otras con relleno de sulfuros. En toda la muestra hay ocurrencia de microdiseminación de grumos de sulfuros especialmente pirita.  |   |
| <b>VM-09</b>  | Incompetente  | Cocada               | tur (49%), py (30%), czIII (20%)   | ef, rt, zr.                | Masa negra con sulfuros y bandeamiento centimétricos de pirita. La masa principal de la muestra está compuesta por agregados sub-radiados de turmalina negra asociada a sulfuros principalmente pirita, en algunas zonas muy cristalizada y tapizando oquedades y fracturas. Con bandeamiento de cuarzo micro granular de tonalidad blanquecina algo cremosa con diseminación de grumos de pirita, y en algunas ocasiones rellenando microfracturas y oquedades. |  |

|              |               |            |   |                              |  |   |
|--------------|---------------|------------|---|------------------------------|--|---|
| <b>VM-10</b> | Subcompetente | Cocada     | py (35%), czIII (30%), SFSsAg (15%), apy (10%), ef-jm (5%). cz II (4%)  | ser, prf, tur, stb           | La muestra está compuesta por relleno de sulfuros y sulfosales con bandeamiento y diseminación masiva o grumos de pirita. Textura bandeada, compuesta principalmente por sulfuros como pirita, esfalerita, jamesonita y cuarzo hialino a lechoso; a veces con presencia de diminutos cristales prismáticos alargados de jamesonita, de tonalidad gris clara y con brillo metálico. |  |
| <b>VM-11</b> | Competente    | Fanerítica | PLGs (45%), czII(15%), bt (14%), czI(10%), ser (5%), mus (5%), tur (5%) | ANFs, PXs, CLOs, zir, ap, rt | Roca diorítica de textura fanerítica. Compuesta principalmente por cristales euhedrales de plagioclasas de tamaños sub-milimétricos, cristales euhedrales a subhedrales de anfíboles y agregados intergranulares, probablemente pseudomorfizados por sericita. En algunas ocasiones se observa cristales de biotitas, algunas de ellas alterándose a cloritas.                     |  |

Fuente: Elaboración Propia

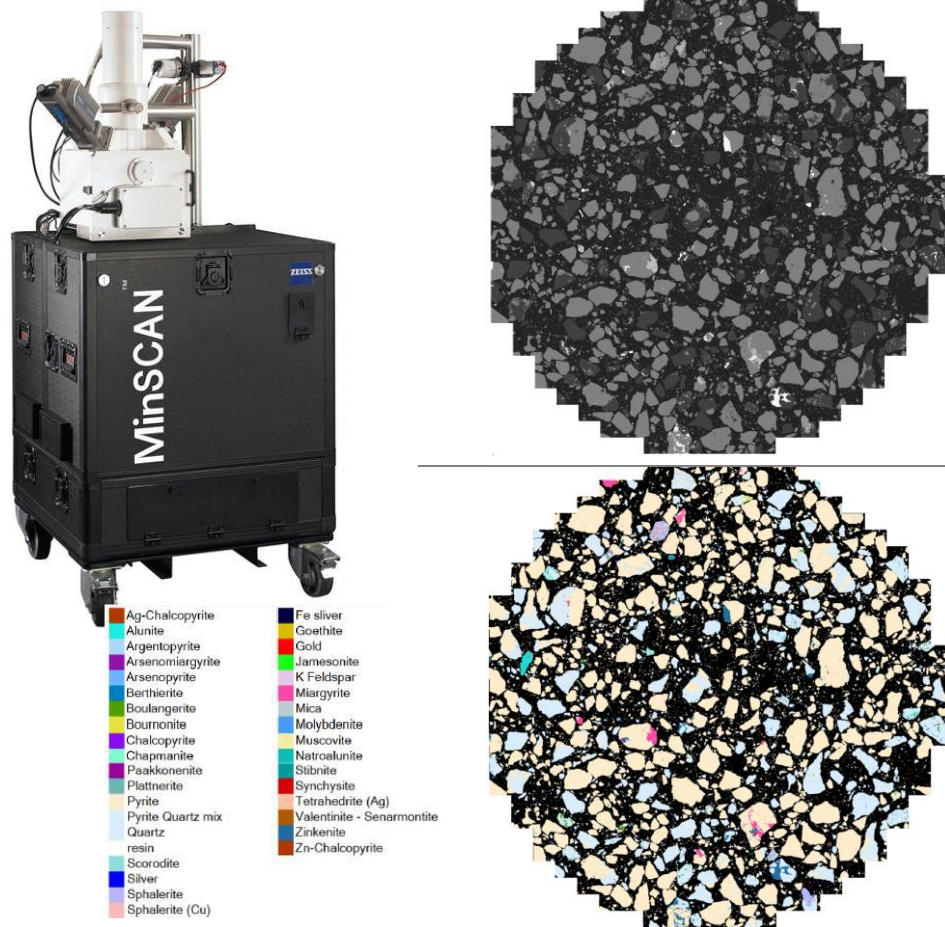


### **3.7. Resultados del Automated Mineral Analysis**

A continuación, se presentan los principales minerales portadores de los elementos económicos, la ocurrencia de minerales portadores de elementos penalizables o contaminantes, con el objetivo de conocer su comportamiento y minimizar los problemas que producen.

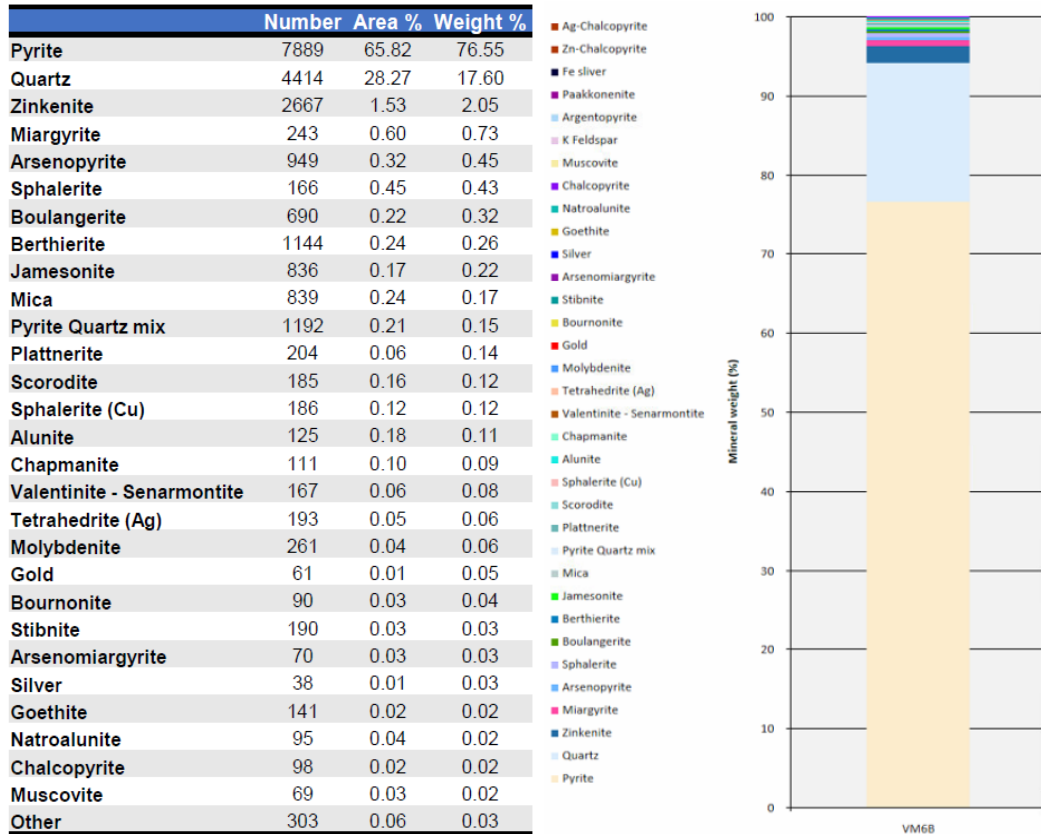
El análisis que se realizó a una de las muestras VM-06B en el laboratorio de Zeiss en Cambridge - Inglaterra con la finalidad de dar respuesta al segundo objetivo de la investigación y también corroborar e identificar minerales que no se pudieron observar bajo el microscopio.

El Zeiss Mineralogic es un MinSCAN que se utiliza para análisis automatizado de minerales, clasifica partículas y granos, viendo partículas individuales, granos, poros o campos de visión. Dando como resultado: Mineralogía de la muestra, asociación de minerales, liberación, distribución de tamaño de partícula, distribución del tamaño de grano, superficie de partículas expuestas, gráficos de tendencias diarias, semanales y mensuales, curva de recuperación de pendiente, rendimiento de liberación acumulativo.



*Figura N° 72:* A la izquierda se presenta el equipo Zeiss Mineralogic, En la parte superior derecha se observa el montaje de la muestra VM-06B, en la parte inferior se presenta el mapeo de los minerales con un tamaño de píxel de 20  $\mu\text{m}$ , se identificaron 11706 partículas en un total de 8h 40m.

En la siguiente imagen se presenta todos los minerales que se identificaron, el área y peso de cada uno de ellos, además de los resultados de composiciones promedios. Se reconocieron principalmente partículas de pirita, que son las más abundantes, seguidos de las partículas de cuarzo, también hay un porcentaje significativo de zinkerita y la mena principal de Ag: Miargirita. Al igual que en el estudio microscopio óptico se identificó arsenopirita, esfalerita, jamesonita, tetraedrita con plata, estibina, etc.



|                            | Number | Area % | Weight % | Grain Size (µm) | Grain Size Std Dev (µm) | Average Composition  |
|----------------------------|--------|--------|----------|-----------------|-------------------------|--|
| Pyrite                     | 7889   | 65.82  | 76.55    | 95.63           | 204.75                  | S 49.11; Fe 48.63; Zn 2.04; Sb 0.11; Ag 0.07; As 0.02; Cu 0.01; Pb 0.01; |
| Quartz                     | 4414   | 28.27  | 17.60    | 90.74           | 187.21                  | Si 56.68; O 43.29; Al 0.02; Au 0.01;                                     |
| Zinkenite                  | 2667   | 1.53   | 2.05     | 36.41           | 53.33                   | Sb 47.84; Pb 39.47; S 12.08; As 0.61;                                    |
| Miargyrite                 | 243    | 0.60   | 0.73     | 62.00           | 126.42                  | Sb 58.54; Ag 20.88; S 20.58;   |
| Arsenopyrite               | 949    | 0.32   | 0.45     | 32.14           | 27.60                   | Fe 39.51; As 37.48; S 22.96; Ag 0.04;                                    |
| Sphalerite                 | 166    | 0.45   | 0.43     | 57.83           | 135.73                  | Zn 60.25; S 29.2; Fe 8.99; Sb 1.56;                                      |
| Boulangerite               | 690    | 0.22   | 0.32     | 30.87           | 22.24                   | Pb 56.76; Sb 31.99; S 9.38; Fe 1.87;                                     |
| Berthierite                | 1144   | 0.24   | 0.26     | 24.69           | 16.15                   | Sb 52.97; S 27.42; Fe 17.26; As 1.89; Zn 0.43; Pb 0.04;                  |
| Jamesonite                 | 836    | 0.17   | 0.22     | 23.93           | 12.11                   | Pb 48.53; Sb 36.42; S 10.88; Fe 4.17;                                    |
| Mica                       | 839    | 0.24   | 0.17     | 31.02           | 22.99                   | Si 48.37; O 43.07; Al 5.45; Fe 1.59; K 1.21; Mg 0.26; Na 0.05;           |
| Pyrite Quartz mix          | 1192   | 0.21   | 0.15     | 22.56           | 9.04                    | O 35.38; Si 32.56; Fe 16.45; S 15.41; Zn 0.2;                            |
| Plattnerite                | 204    | 0.06   | 0.14     | 30.37           | 28.68                   | Pb 81.99; O 14.03; S 3.23; As 0.56; Sb 0.19;                             |
| Scorodite                  | 185    | 0.16   | 0.12     | 44.66           | 65.92                   | As 33.42; O 30.09; Fe 24.79; Si 7.53; Sb 3.43; S 0.74;                   |
| Sphalerite (Cu)            | 186    | 0.12   | 0.12     | 42.63           | 59.46                   | Zn 57.64; S 29.23; Fe 9.47; Cu 3.67;                                     |
| Alunite                    | 125    | 0.18   | 0.11     | 40.20           | 122.60                  | O 51.22; Al 19.69; S 17.12; K 8.34; Si 1.84; Fe 1.56; P 0.23;            |
| Chapmanite                 | 111    | 0.10   | 0.09     | 42.05           | 80.01                   | Sb 43.45; Si 24.9; O 19.03; As 5.39; Fe 5.34; S 1.69; H 0.2;             |
| Valentinite - Senarmontite | 167    | 0.06   | 0.08     | 31.67           | 35.68                   | Sb 92.8; O 7.2;  |
| Tetrahedrite (Ag)          | 193    | 0.05   | 0.06     | 31.40           | 19.08                   | Sb 37.84; S 20.61; Cu 14.12; Fe 13.96; Ag 10.36; As 2.76; Zn 0.35;       |
| Molybdenite                | 261    | 0.04   | 0.06     | 20.55           | 4.03                    | Mo 60.00; S 40.00;   |
| Gold                       | 61     | 0.01   | 0.05     | 20.33           | 2.56                    | Au 100;  |
| Bournonite                 | 90     | 0.03   | 0.04     | 31.16           | 21.77                   | Pb 43.15; Sb 32.02; S 15.78; Cu 9.05;                                    |
| Stibnite                   | 190    | 0.03   | 0.03     | 20.78           | 4.84                    | Sb 70.6; S 16.5; As 8.36; Fe 4.26; Zn 0.28;                              |
| Arsenomiargyrite           | 70     | 0.03   | 0.03     | 37.28           | 36.24                   | Sb 46.91; Ag 35.49; As 11.71; S 5.89;                                    |
| Silver                     | 38     | 0.01   | 0.03     | 31.19           | 26.31                   | Ag 100;  |
| Goethite                   | 141    | 0.02   | 0.02     | 21.93           | 7.07                    | Fe 51.02; O 45.87; Si 2.98; Al 0.07; Mg 0.06;                            |
| Natroalunite               | 95     | 0.04   | 0.02     | 41.33           | 29.71                   | O 51.9; Al 20.45; S 17.28; K 8.49; Na 1.4; Fe 0.22; P 0.17; Si 0.08;     |
| Chalcopyrite               | 98     | 0.02   | 0.02     | 21.49           | 7.35                    | Fe 40.81; S 39.99; Cu 19.2;  |
| Muscovite                  | 69     | 0.03   | 0.02     | 35.13           | 31.94                   | O 43.44; Si 27.14; Al 18.67; K 9.8; Fe 0.85; Mg 0.08; Na 0.02;           |
| Other                      | 303    | 0.06   | 0.03     |                 |                         |  |

Figura N° 73: Minerales identificados por el Zeiss Mineralogic.

Según los resultados de composiciones promedios en el caso de la pirita se observa que hay contenido de Ag, entonces la pirita no solo es importante como

portador de Au, sino también de Ag. También observemos que en los granos de cuarzo se han identificado partículas de Au, por ello es importante que se realice un análisis más detallado para identificar si es Au presente en cuarzo es rentable. En el caso de la miargirita se debe tener en cuenta que además de las leyes altas de Ag, también hay un gran porcentaje de antimonio, por ello se debe tener cuidado al momento de extraer Ag se puede liberar antimonio, lo mismo sucede con la arsenopirita que también presenta valores de Ag y se puede liberar arsénico. Por otro lado, en el caso de zinkenita también se debería tener cuidado al momento de extraer plomo porque se puede liberar arsénico y antimonio.

En la siguiente imagen se presenta la química de la muestra, en la cual se presentan todos los elementos identificados, como la muestra en su mayoría está compuesta por sulfuros especialmente pirita como principal componente, entonces se observa como elemento mayoritario el azufre (S) y hierro (Fe) que forman los sulfuros de hierro, También está la Sílice (Si) como formador de silicatos, porcentajes relativamente significativos de zinc (Zn) por presencia de la esfalerita y plomo (Pb) debido a la presencia de zinkerita y jamesonita, finalmente algunos porcentajes de plata (Ag) y oro (Au). Por otro lado, como elementos penalizables también se identificó un porcentaje bastante considerable de arsénico (As) antimonio (Sb) que se debe tener en cuenta para que no castigue el concentrado final.

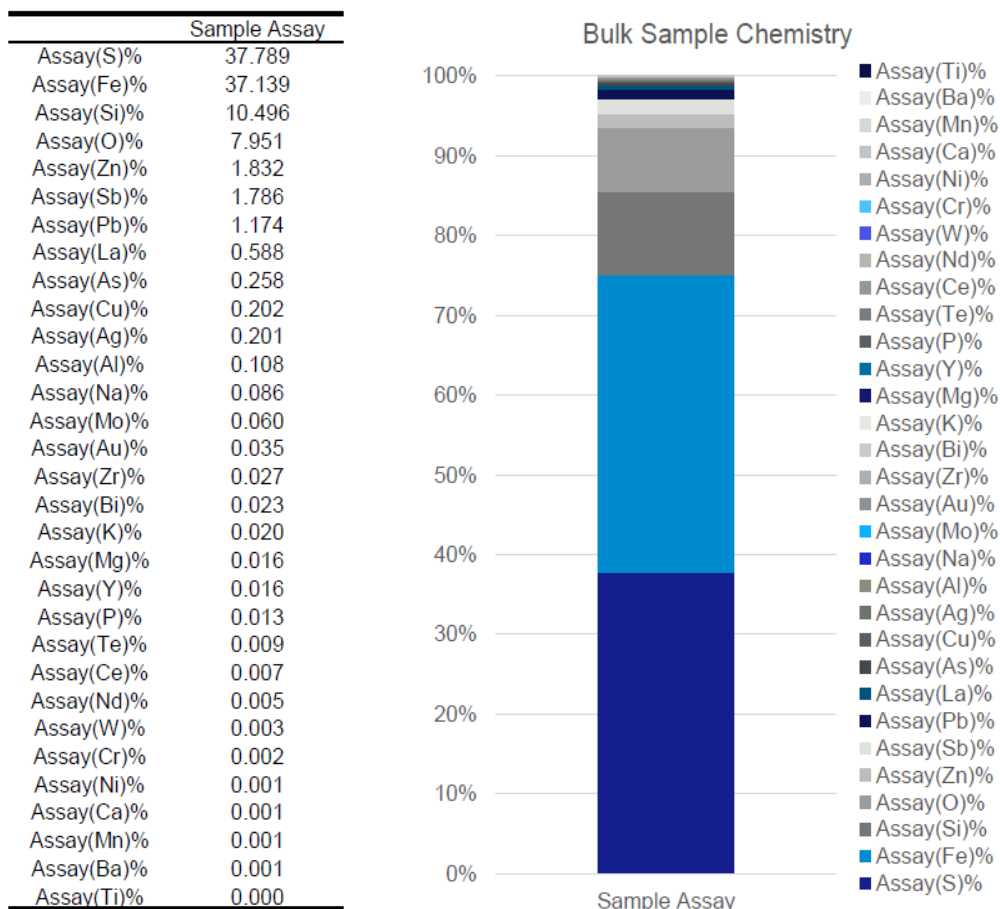


Figura N° 74: Química de la muestra y porcentajes de los elementos.

A continuación, se presenta la química de los elementos económicos que conforman los minerales de la mena.

Para el caso de la Ag que es el elemento principal, se identificaron 6 minerales que contienen porcentajes significativos de Ag, la miargirita que es la mena principal de plata por tener el contenido mayoritario de 55% de Ag, la pirita que contiene el 25% del total de Ag, también se identificó plata nativa que representa el 8.12%, arsenomiargirita con un 5.36%, tetraedrita con 2.82% y finalmente argentopirita con 1.14%. Existen otros minerales que contienen Ag en sus estructuras en menor proporción o a modo de trazas y todos ellos en conjunto solo representan el 1.74% de Ag.



|                   | Assay(Ag)% | Distribution(Ag)% |
|-------------------|------------|-------------------|
| Sample Assay      | 0.201      | 100.000           |
| Miargyrite        | 0.111      | 55.350            |
| Pyrite            | 0.051      | 25.474            |
| Silver            | 0.016      | 8.119             |
| Arsenomiargyrite  | 0.011      | 5.365             |
| Tetrahedrite (Ag) | 0.006      | 2.815             |
| Argentopyrite     | 0.002      | 1.137             |

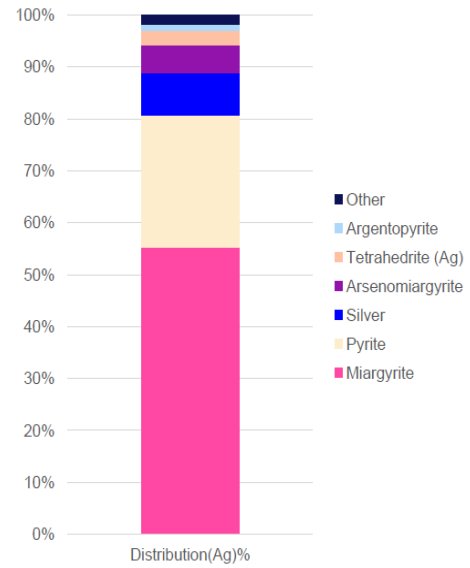


Figura N° 75: Elementos que contienen plata (Ag).

Para el caso del plomo (Pb) se identificaron 5 minerales que contienen Pb, la Zinkerita que es la mena principal de plomo por tener el contenido mayoritario de 64% de Pb, la boulangerita que contiene el 14% del total de Pb, también se identificó plattnerita con un contenido de 9.18% de Pb, jamesonita con 8.02% y bournonita con 1.36%. El 2.83% de contenido de Pb este contenido en otros minerales en cantidades mínimas, por ser muy pequeñas no se han podido identificar.

|              | Assay(Pb)% | Distribution(Pb)% |
|--------------|------------|-------------------|
| Sample Assay | 1.174      | 100.000           |
| Zinkenite    | 0.755      | 64.270            |
| Boulangerite | 0.168      | 14.345            |
| Plattnerite  | 0.108      | 9.177             |
| Jamesonite   | 0.094      | 8.021             |
| Bournonite   | 0.016      | 1.356             |
| Other        | 0.033      | 2.830             |

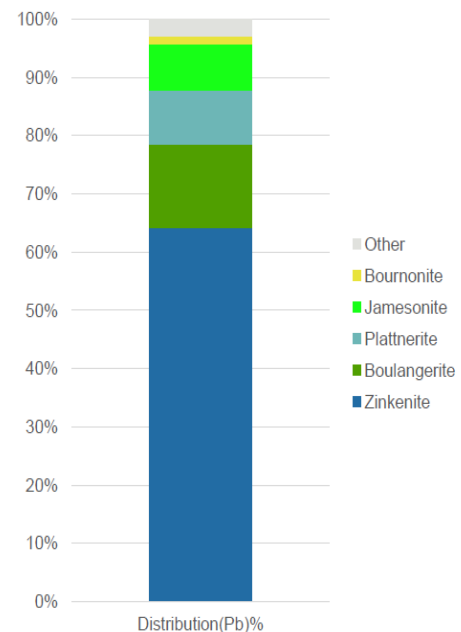


Figura N° 76: Elementos que contienen plomo (Pb).

Seguidamente se presenta la química de los elementos penalizables o contaminantes que pueden ser problemáticos y/o castigarían el concentrado.

En el caso del arsénico (As), se identificaron 11 minerales con contenido de arsénico. La mayor proporción está en arsenopirita con 57%, scorodita con 15%, también se reportó As en pirita representando el 6.9%, Zinkerita con 4.55%, incluso en las gangas también está presente el As 3.62%. Existen otros minerales que contienen As en sus estructuras en menor proporción o a modo de trazas y todos ellos en conjunto representan el 3.02% de As.

|                            | Assay(As)% | Distribution(As)% |
|----------------------------|------------|-------------------|
| Sample Assay               | 0.258      | 100.000           |
| Arsenopyrite               | 0.147      | 56.795            |
| Scorodite                  | 0.040      | 15.409            |
| Pyrite                     | 0.018      | 6.949             |
| Zinkenite                  | 0.012      | 4.546             |
| Quartz                     | 0.009      | 3.623             |
| Valentinite - Senarmontite | 0.007      | 2.566             |
| Chapmanite                 | 0.005      | 1.843             |
| Goethite                   | 0.005      | 1.760             |
| Arsenomiarгыrite           | 0.004      | 1.375             |
| Stibnite                   | 0.003      | 1.058             |
| Berthierite                | 0.003      | 1.044             |
| Other                      | 0.008      | 3.029             |

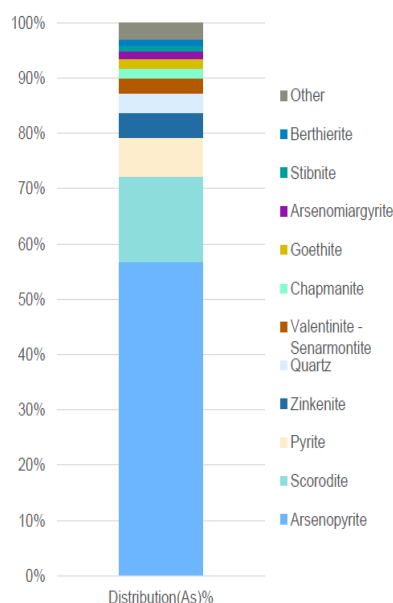


Figura N° 77: Elementos que contienen arsénico (As).

En el caso del Antimonio (Sb) se identificaron 9 minerales que contienen Sb, la Zinkerita con contenido mayoritario de 51% de Sb, la miargirita que contiene el 17% del total de Sb, la pirita representa el 4.67% de Sb, jamesonita con 3.96% y estibina con 1.29%. El 6.13% de contenido de Sb está contenido en otros minerales en cantidades mínimas.

| Sample Assay               | Assay(Sb)% | Distribution(Sb)% |
|----------------------------|------------|-------------------|
| Zinkenite                  | 0.915      | 51.213            |
| Miargyrite                 | 0.311      | 17.425            |
| Boulangerite               | 0.095      | 5.316             |
| Pyrite                     | 0.083      | 4.671             |
| Berthierite                | 0.076      | 4.228             |
| Jamesonite                 | 0.071      | 3.958             |
| Valentinite - Senarmontite | 0.065      | 3.616             |
| Chapmanite                 | 0.038      | 2.146             |
| Stibnite                   | 0.023      | 1.291             |
| Other                      | 0.110      | 6.138             |

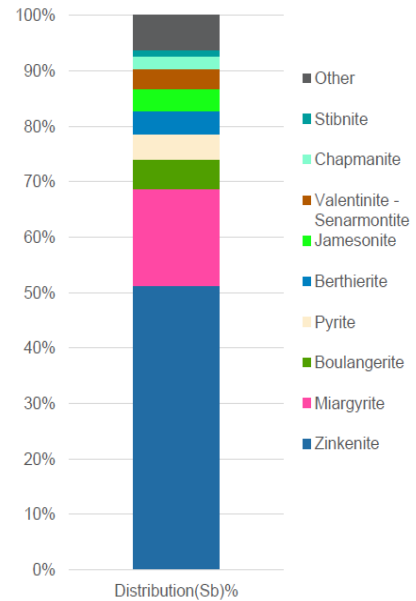


Figura N° 78: Elementos que contienen antimonio (Sb).

Finalmente se muestra un gráfico de las principales asociaciones de contacto o intercrecimiento de los minerales de mena, en donde se puede observar que la Ag está asociada principalmente a la pirita, y esta esta intercrecida con arsenomiargirita, miargirita y zinkerita. También se observa que los intercrecimientos más comunes de tetraedrita con contenido de Ag es con miargirita.

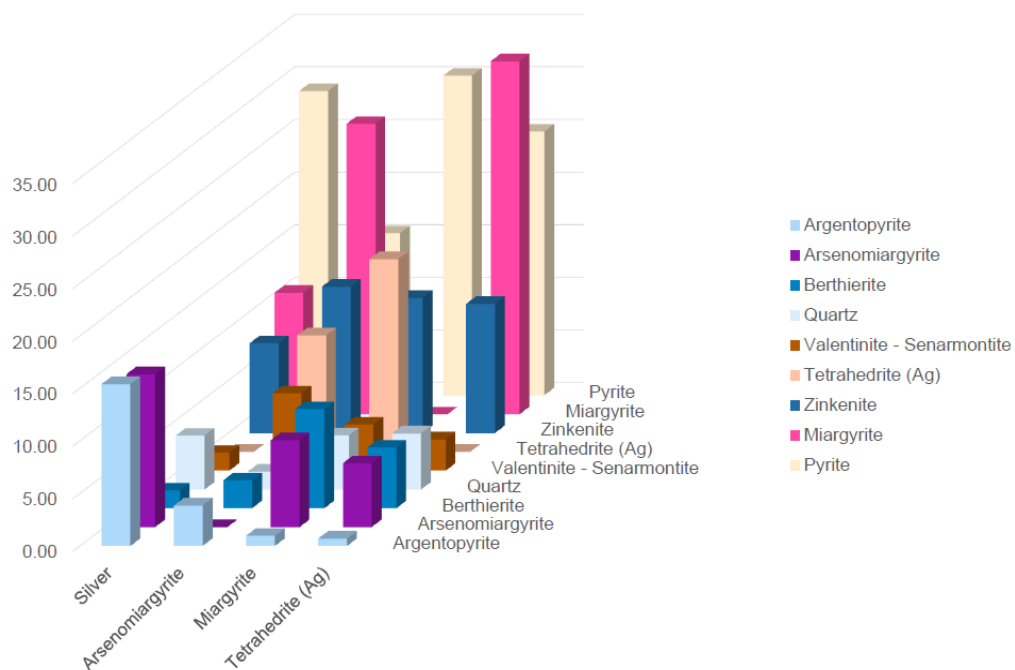


Figura N° 79: Asociaciones de contacto entre los principales minerales de mena.

### **3.8. Resultados de las pruebas de flotación**

Finalmente, se propone el tratamiento metalúrgico que se ajuste a las características mineralógicas y geoquímicas del material extraído de la Veta Milagros, con la finalidad de optimizando la recuperación. Luego de haber analizado e identificado los altos porcentajes de contenidos de sulfuros como pirita, esfalerita, estibina, miargirita, zikenita, calcopirita asociados a Ag-Au, se realizó pruebas de flotación de la mineralización de la veta, para verificar la eficiencia del proceso de recuperación, por ser la opción más adecuada para concentración de minerales sulfurados.

Recatando lo que Manzaneda, J. (2010). Afirma con respecto a la recuperación de minerales por flotación es importante y trascendente porque hace posible que minerales valiosos de baja ley puedan ser recuperados de manera económica, pues resultan económicamente atractivas para su procesamiento.

Se concluye que la flotación es el método más adecuado para una óptima recuperación de los minerales mena de la Veta Milagros. Los siguientes resultados de las 02 pruebas de flotación realizadas validan lo afirmado.

#### **I. Prueba Metalúrgicas Mineral Ag Pb y Au**

##### **1. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL**

Se presenta el siguiente cuadro de los análisis realizados a la prueba metalúrgica experimental.

Tabla N° 26:

*Análisis químico de la prueba experimental Ag Pb Au*

| Producto            | Peso % | Au g/TM | Ag Oz/T M | Pb %  | Zn % | Fe %  | As % | Sb%   |
|---------------------|--------|---------|-----------|-------|------|-------|------|-------|
| <i>Cabeza</i>       | 100    | 8.18    | 53.88     | 2.71  | 0.10 | 21.26 | 0.70 | 2.61  |
| <i>Conc. Pb Ag</i>  | 6.21   | 15.00   | 503.99    | 24.29 |      | 11.33 | 0.81 | 19.70 |
| <i>Medios Pb Ag</i> | 2.20   |         | 244.45    | 11.98 |      | 19.87 | 1.13 | 11.62 |
| <i>Relave 1</i>     |        | 5.70    | 15.74     | 1.15  |      | 17.26 | 0.58 | 0.99  |
| <i>Conc. Px Au</i>  | 14.33  | 12.65   | 23.27     | 1.51  |      | 40.72 | 0.93 | 1.53  |
| <i>Medios Px Au</i> | 8.72   | 10.67   | 38.47     | 2.92  |      | 33.59 | 0.84 | 2.67  |
| <i>Relave Final</i> | 68.54  | 2.23    | 9.73      | 0.79  |      | 6.30  | 0.36 | 0.81  |

Fuente: Planta Concentradora de Mineral "El Mirador"

## 2. BALANCE METALÚRGICO TENTATIVO DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

Se presenta el siguiente Balance metalúrgico tentativo de la prueba metalúrgica experimental a nivel de laboratorio, considerando un total de 200 TM de mineral polimetálico a procesar.

Tabla N° 27:

*Balance metalúrgico tentativo para Ag Pb Au*

| Producto            | LEYES    |          |          |       |       | CONTENIDO |        |       |       | RECUPERACIÓN |       |       |       | Ratio       |
|---------------------|----------|----------|----------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------------|
|                     | Peso TMs | Au g/T M | Ag Oz/TM | Pb %  | Fe %  | Au gr     | Ag Oz  | Pb TM | Fe TM | Au %         | Ag %  | Pb %  | Fe %  |             |
| <i>Cabeza</i>       | 200.00   | 8.18     | 53.88    | 2.71  | 21.26 | 163.60    | 107.76 | 5.42  | 42.52 | 100.00       | 10.00 | 10.00 | 10.00 |             |
| <i>Conc. Ag Pb</i>  | 13.74    | 15.00    | 503.99   | 24.29 | 11.33 | 206.08    | 692.41 | 3.34  | 1.56  | 13.68        | 70.04 | 61.57 | 3.66  | <b>14.6</b> |
| <i>Conc. Px Au</i>  | 84.92    | 12.65    | 23.27    | 1.51  | 40.72 | 107.42    | 197.60 | 1.28  | 34.58 | 71.32        | 19.99 | 23.66 | 81.32 | <b>2.4</b>  |
| <i>Relave Final</i> | 101.34   | 2.23     | 9.73     | 0.79  | 6.30  | 225.99    | 986.07 | 0.80  | 6.38  | 15.00        | 9.97  | 14.77 | 15.02 |             |
| <i>Cab. Calc</i>    | 200.00   | 7.53     | 49.43    | 2.71  | 21.26 | 150.62    | 988.62 | 5.42  | 42.52 | 100.00       | 10.00 | 10.00 | 10.00 |             |

Fuente: Planta Concentradora de Mineral "El Mirador"

Del cuadro anterior, según los valores obtenidos en la prueba metalúrgica podemos afirmar y estimar que, si se procesa 200 Tm de mineral polimetálico, se obtendrán cerca de 13 TM de concentrado de plomo plata y 84 TM de



concentrado de pirita aurífera de acuerdo con las leyes mencionadas en el cuadro anterior.

### 3. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

- El ratio para el plomo se estima en: 14
- El ratio para la pirita se estima en: 2.4
- Las recuperaciones totales se aprecian tal como siguen:
  - Oro: 85%
  - Plata: 90%
  - Plomo: 85%
- El mineral presenta adaptabilidad a la flotación diferencial, dócil y totalmente manejable a nivel industrial.
- El mineral según los resultados de la prueba metalúrgica se adapta y se ajusta a la concentración por flotación, debido a la presencia de mineral fresco como miargirita y zinkerita.
- Se destaca la presencia de estibina ( $Sb_2S_3$ ) en el mineral en estudio.
- Como se evidencio en el análisis mineralógico la estibina ( $Sb_2S_3$ ), este intercrecida a la matriz de la plata, por lo que se deberá considerar no deprimir la estibina.
- El oro flota normalmente en el concentrado de plomo a un valor moderado, porque este asociado al zinkerita.
- Como se evidencio en los análisis de microcopia electrónica el oro y la plata también están presentes em la pirita y en cuarzo, y esto se ve reflejado en los valores altos de los relaves de estos elementos.

## II. Prueba Metalúrgicas Mineral Ag Pb

### 1. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

Se presenta el siguiente cuadro de los análisis realizados a la prueba metalúrgica experimental.

Tabla N° 28:

*Análisis químico de la prueba experimental Ag Pb*

| Producto    | Peso % | Au g/TM | Ag Oz/TM | Cu % | Pb %  | Zn % | As % | Fe %  |
|-------------|--------|---------|----------|------|-------|------|------|-------|
| Cabeza      | 100.00 | 5.68    | 15.09    | 0.09 | 1.42  | 0.13 | 1.03 | 9.15  |
| Conc. Bulk  | 1.30   |         | 201.24   |      | 27.03 |      | 1.06 | 21.54 |
| Medios Bulk | 6.01   |         | 95.04    |      | 5.39  |      | 1.13 | 27.30 |
| Relave      | 92.69  |         | 3.10     |      | 0.30  |      | 0.26 | 4.76  |

Fuente: Planta Concentradora de Mineral "El Mirador"

### 2. BALANCE METALÚRGICO TENTATIVO DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

Se presenta el siguiente Balance metalúrgico tentativo de la prueba metalúrgica experimental a nivel de laboratorio, considerando un total de 1000 TM de mineral de mineral polimetálico con alto contenido de plata a procesar.

Tabla N° 29:

*Balance metalúrgico tentativo para Ag Pb*

| Producto   | LEYES        |          |       | CONTENIDO |       | DISTRIBUCIÓN |        |       |
|------------|--------------|----------|-------|-----------|-------|--------------|--------|-------|
|            | Peso TMs     | Ag Oz/TM | Pb %  | Ag gr     | Pb TM | Ag %         | Pb%    | Ratio |
| Cabeza     | 1000.00      | 15.09    | 1.42  | 15090.00  | 14.20 | 100.00       | 100.00 |       |
| Conc. Bulk | <b>41.90</b> | 201.24   | 27.03 | 8432.05   | 11.33 | 73.95        | 79.76  | 23.9  |
| Relave     | 958.10       | 3.10     | 0.30  | 2970.11   | 2.87  | 26.05        | 20.24  |       |
| Cab. Calc  |              | 15.09    | 1.42  | 11402.16  | 14.20 | 100.00       | 100.00 |       |

Fuente: Planta Concentradora de Mineral "El Mirador"

Del cuadro anterior, según los valores obtenidos en la prueba metalúrgica podemos afirmar y estimar que, si se procesa 1000 Tm de

mineral polimetálico, se obtendrán cerca de 42 TM de concentrado de plomo plata.

### 3. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

- El ratio para el plomo se estima en: 23
- Las recuperaciones totales se aprecian tal como siguen:
  - Oro: 74%
  - Plata: 80%
  - Plomo: 85%
- El mineral presenta adaptabilidad a la flotación diferencial, dócil y totalmente manejable a nivel industrial.
- El mineral según los resultados de la prueba metalúrgica se adapta y se ajusta a la concentración por flotación, debido a la presencia de mineral fresco como miargirita y zinkerita.
- No es necesario la sulfurización del mineral para el proceso de concentración por flotación.
- Debido al alto tonelaje a procesar (1000 TM) es recomendable llevar dicho proceso en una primera etapa, a un pilotaje a nivel de planta concentradora, a fin de realizar los ajustes necesarios en cuanto al manejo de reactivos y tratar de conseguir los mejores resultados metalúrgicos. Para posteriormente llevar a planta concentradora con total confianza en el manejo del mineral.
- Se recomienda la molienda en valores promedios de 52 a 56% malla -200.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En el siguiente cuadro se presenta la lista de los minerales portadores de los elementos económicos encontrados en las muestras estudiadas: tal como se observa, no se ha encontrado oro libre no visible, se asume que el oro solo ocurre de forma estructura, vale decir como parte de la estructura cristalina de otros minerales, en este caso pirita.

Tabla N° 30:  
*Elementos Económicos*

| ELEMENTOS ECONÓMICOS |                  |  |   |
|----------------------|------------------|--|---|
| ELEMENTO             | MINERAL PORTADOR | MUESTRA  | OBSERVACIONES   |
| <b>Au</b>            | pirita           | VM-02B, VM-03, VM-04, VM-05, VM-06A                | Oro invisible, posible en la estructura atómica de la pirita.                                   |
| <b>Ag</b>            | miargirita       | VM-02B, VM-03, VM-04, VM-05, VM-06A, VM-06B, VM-10 | Intercrecida con zinkerita, jamesonita, estibina y pirita y en algunas ocasiones con esfalerita |
|                      | bornita          | VM-05  | Con inclusiones de pirita. Muy escasa   |
| <b>Cu</b>            | calcopirita      | VM-02B, VM-05, VM-06A                              | Inclusiones en esfalerita   |
|                      | Cobres Grises    | VM-05  | Intercrecidos con Sulfosales de plata. Muy escasa   |
| <b>Pb</b>            | jamesonita       | VM-02B, VM-05, VM-06A, VM-10                       | Intercrecidos con estibina y las Sulfosales de plata – miargirita con inclusiones de esfalerita |
|                      | zinkerita        |  |   |
| <b>Zn</b>            | esfalerita       | VM-06A, VM-07, VM-10                               | Con inclusiones de calcopirita y esfalerita.  |

*Fuente: Elaboración propia*

La plata ocurre como formador de las Sulfosales. La miargirita es el mayor mineral que ocurre con porcentajes económicos de Ag; sin embargo, al ser un mineral que presentar Sb, su beneficio metalúrgico es complicado.

El principal portador de cobre es la calcopirita, presente en la mayoría de las muestras como inclusiones micrométricas en la esfalerita, debido al tamaño

micrométrico también será complicado su beneficio metalúrgico. En menor proporción ocurre la bornita y de manera muy escasa como cobres grises.

El mineral portador del plomo es la zinkerita y jamesonita, que ocurre de manera escasa intercrecida con las sulfosales de plata, al igual que la esfalerita que es el mineral portador del zinc.

No se ha observado intercrecimientos complejos de los minerales portadores de elementos económicos, ni de los portadores de elementos indeseables, por lo que se puede concluir que cualquier método de beneficio metalúrgico no tendrá mayores complicaciones. De todas maneras, se debe realizar un análisis de liberación a diferentes mallas de muestras representativas, para poder diseñar y optimizar el mejor tratamiento metalúrgico.

En el siguiente cuadro se muestra a los minerales portadores de elementos usualmente penalizables. El cuadro es muy genérico; algunos elementos pueden no ser problema dependiendo del método de beneficio metalúrgico que se aplique; así como también del contrato de comercialización.

Tabla N° 31:  
*Elementos Penalizables*

| <b>ELEMENTOS PENALIZABLES</b> |                         |                                      |  |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>ELEMENTO</b>               | <b>MINERAL PORTADOR</b> | <b>MUESTRA</b>                       | <b>OBSERVACIONES</b>   |
| <b>As</b>                     | arsenopirita            | VM-02B, VM-05, VM-06A, VM-06B, VM-10 | Intercrecida con sulfosales de plata                         |
|                               | Cobres Grises           | VM-05                                | Intercrecida con Sulfosales de plata, muy escasa             |
| <b>Sb</b>                     | zinkerita               | VM-02B, VM-03, VM-04, VM-06B, VM-10  | Intercrecida con jamesonita, estibina, esfalerita y pirita   |
|                               | estibina                | VM-02B                               | Muy escasa, con inclusiones de arsenopirita                  |
|                               | miargirita              | VM-02B, VM-03, VM-04, VM-06B, VM-10  | Intercrecida con jamesonita, estibina, esfalerita y pirita   |
|                               | Cobres Grises           | VM-05                                | Intercrecida con Sulfosales de plata, muy escasa             |
|                               | jamesonita              | VM-02B, VM-05, VM-06A, VM-10         | Intercrecida con estibina, sulfosales de plata y esfalerita. |

*Fuente:* Elaboración propia



Entre los materiales indeseables se encuentran también las arcillas, las cuales se han identificado en cantidades mínimas sólo en la muestra: VM-06B (<1%). También se reporta pirofilita, identificada bajo el microscopio, en la muestra VM-06B y en un porcentaje de 2%.

Teniendo en cuenta estas asociaciones y/o ensambles mineralógicos se puede decir que la veta es rentablemente económica, por el alto porcentaje de plata. Es probable que al momento de la recuperación el concentrado de plata se castigue ligeramente por el contenido de arsénico y antimonio, pero por estar en porcentajes moderados, este se puede manejar.

El contenido de los penalizados solo representa 2% de la mineralización, lo cual indica que la veta es rentable.

## 4.2 Conclusiones

Se realizó la identificación y caracterización las muestras de roca, basado en el concepto de roca total identificando todos los minerales mena y ganga que componen la veta Milagros, la cual está compuesta por sulfosales de plata, piritita y turmalina mayoritariamente, teniendo en cuenta los resultados de trabajos anteriores similares como el caso de Zabaleta (2000), que recomienda un proceso metalúrgico de flotación para sulfuros, se analizó datos de pruebas de flotación los cuales indican una óptima recuperación.

De acuerdo con los análisis químicos realizados, se obtuvo leyes altas en elementos como Ag, Au, Pb, leyes de Ag hasta de 53.88 oz/TM y Au hasta 8.61 gr/TM, los cuales con porcentajes mayoritarios componen las menas, esto la hace atractivamente económica. Se obtuvo contenido de As y Sb que se identifican como

minerales penalizados, los cuales podrían castigar ligeramente el valor económico si excediesen los límites permitidos.

La principal mena relacionada a Ag se encuentra principalmente en las sulfosales de plata identificadas como Miargirita. Por otro lado, la mena principal de Au es la pirita, en el cual se postula que el oro en la pirita se encuentra de manera estructural, porque no se alcanzó a ver bajo el microscopio óptico.

La sílice es la ganga más abundante; ocurre en varias formas: Cuarzo como fenocristales de las porfiritas (cz-I), en la matriz de los fragmentos de porfirita (cz-II); de tamaño micrométrico e intercrecido con sílice amorfa y algo de sericita finamente diseminada. Cuarzo hidrotermal (cz\_III), Cristales hecto- a decamicrométricos, eu- a subhedrales. Componente principal de la Veta como agregados o relleno de oquedades hectomicrométricas. La segunda ganga más abundante es la Turmalina intercrecida con cuarzo. Las cuales no presentan problemas en la flotación.

Los principales minerales portadores de elementos económicos son: Miargirita: Sulfosal de Ag, generalmente asociada a Zinkerita y esfalerita. Pirita portadora de Au, y en menor proporción calcopirita. Sulfuro de Cu y Fe, muy escasa.

Debido a los intercrecimientos entre la esfalerita y estibina, por presentarse como inclusión este es un intercrecimiento simple y no se llegaría a liberar fácilmente. En este caso está controlada la liberación de Sb. En cambio, los intercrecimiento de playas de las sulfosales en muchas ocasiones se encuentran como islas en la ganga, esto implica que se liberaría sin mayor dificultad.

La flotación es el mejor método de recuperación, pues según las pruebas realizadas se llegará a recuperaciones totales de 85% en Au, 90% de Ag y 85% de Pb, puesto que los minerales que los contienen presentan adaptabilidad a la flotación diferencial, dócil y totalmente manejable a nivel industrial.

Las muestras de la veta: serán de fácil conminución si esta se realiza por percusión; las opciones de torque o presión requerirán de mayor consumo de energía y generarán más finos. Para algunas texturas, como las afaníticas y masivas, es decir muestras de la roca encajonante, se debe optimizar la fragmentación química (voladura) para minimizar los costos de la conminución mecánica (chancado).

### 4.3 Recomendaciones

La secuencia de formación de los minerales que se muestra en la figura N°70, sólo es una primera aproximación, la cual deberá ser corroborada con el estudio de muestras adicionales.

Realizar el análisis químico multielemental de los rechazos de las muestras correspondientes a las estudiadas para poder realizar el análisis multielemental estadístico (“Cluster Analysis”) que permita definir la firma geoquímica de la mineralización; así como los respectivos “path finders”.

Si las muestras estudiadas representan al tipo de mineral que ocurre en el yacimiento, entonces serán de fácil conminución; ya que son muy deleznable; por lo tanto, la mejor opción de conminución sería la percusión; las opciones de torque o presión requerirán de mayor consumo de energía y generarán más finos. Incluso se podría obviar el chancado primario y hasta secundario, si se pudiera optimizar la fragmentación química (voladura), aplicando los UGFs; minimizando así los costos de la conminución mecánica (chancado).

La única forma de extraer la Ag y el Au de las sulfosales y de la piritita, es la hidrometalurgia. Quizás sería conveniente orientar pruebas metalúrgicas de flotación para conseguir un concentrado de Ag con contenido de Au, el cual posteriormente podría ser tratado por algún otro método hidrometalúrgico. Estos métodos sólo son

viabiles cuando se tiene leyes de Au importantes en los concentrados previos de flotación. Se recomienda realizar una caracterización geometalúrgica para poder definir Ensamblajes Mineralógico-Texturales (EMTs) que tendrán respuestas metalúrgicas diferentes; así como Unidades Geológicas de Fragmentación (UGFs) para optimizar la voladura y chancado primario.

Se recomienda realizar análisis por difracción de rayos-X (DRX), de la fracción pesada de la muestra VM-02B para verificar la identificación de las oxisales de Pb.

#### **4.4 Limitaciones**

Debido a la coyuntura actual a raíz de la pandemia provocada por el COVID-19, se aplazó la presentación de la tesis, ya que los análisis no se dieron en los plazos acordados. El proceso de investigación se limitó principalmente por la falta de estudios previos con respecto a los temas de microscopía y metalurgia. En campo estuvimos limitados en la toma de datos y muestras por los restringidos accesos y vías.

## 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.



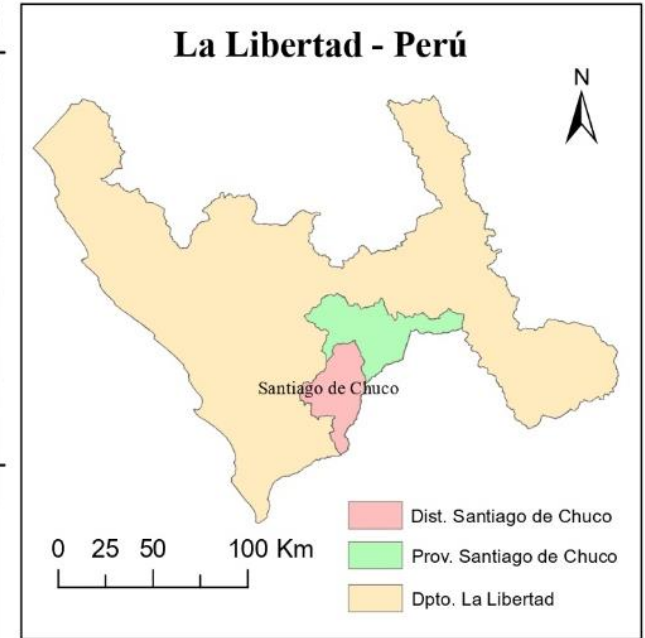
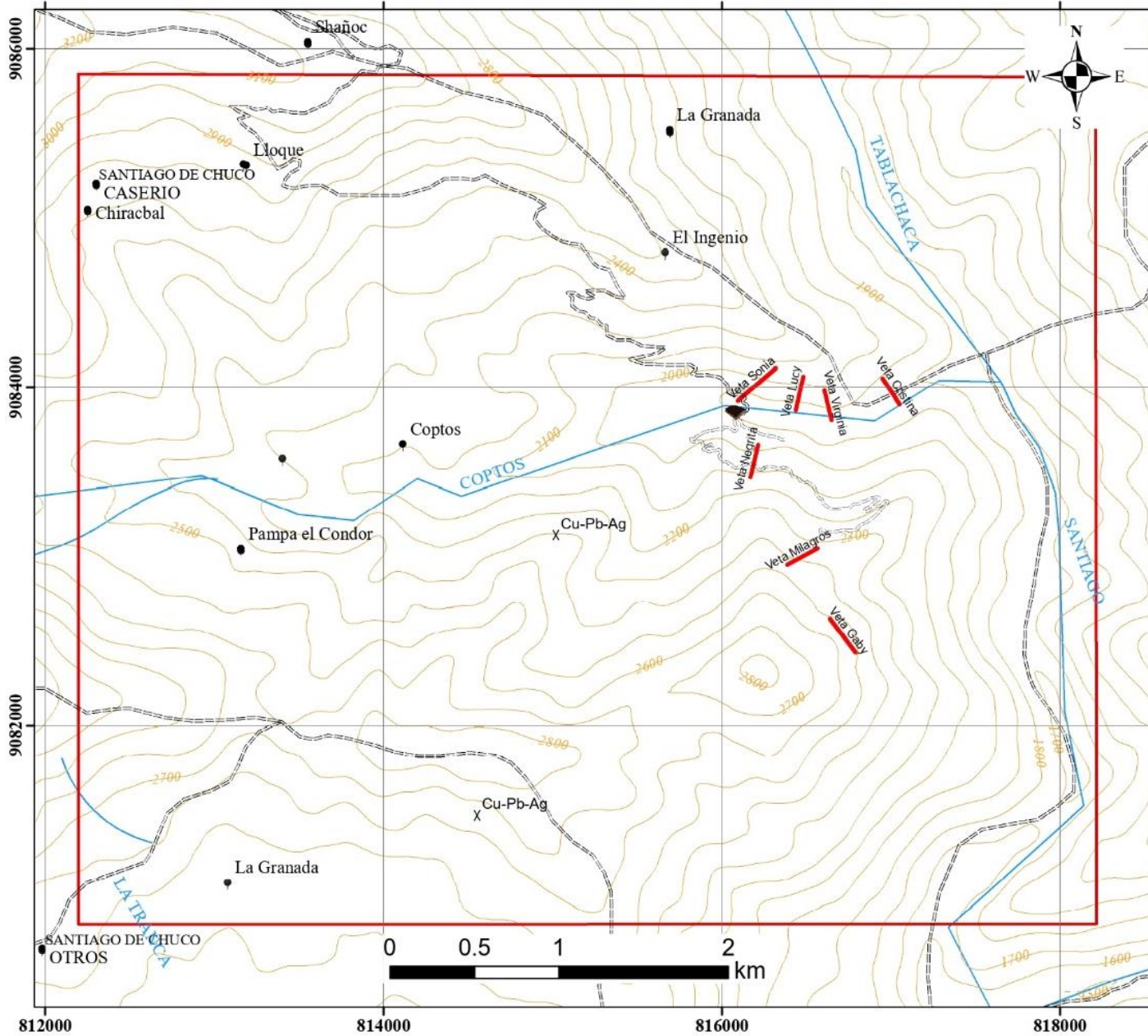
- Chirif, L. (2010). *Microscopía Óptica de Minerales*. Lima – Perú.
- Escamilla, C. & Reyes, J. (2006). *Recuperación de metales preciosos provenientes de Presa de Jales*. En: Encuentro sobre procesamiento de minerales, 13. San Luis Potosí, 11-13 Octubre 2006.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, 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.

## ANEXOS

- Anexo N° 01: Planos y Mapas
- Anexo N° 02: Cuadro Resumen y Tablas
- Anexo N° 03: Certificados de Análisis Químico

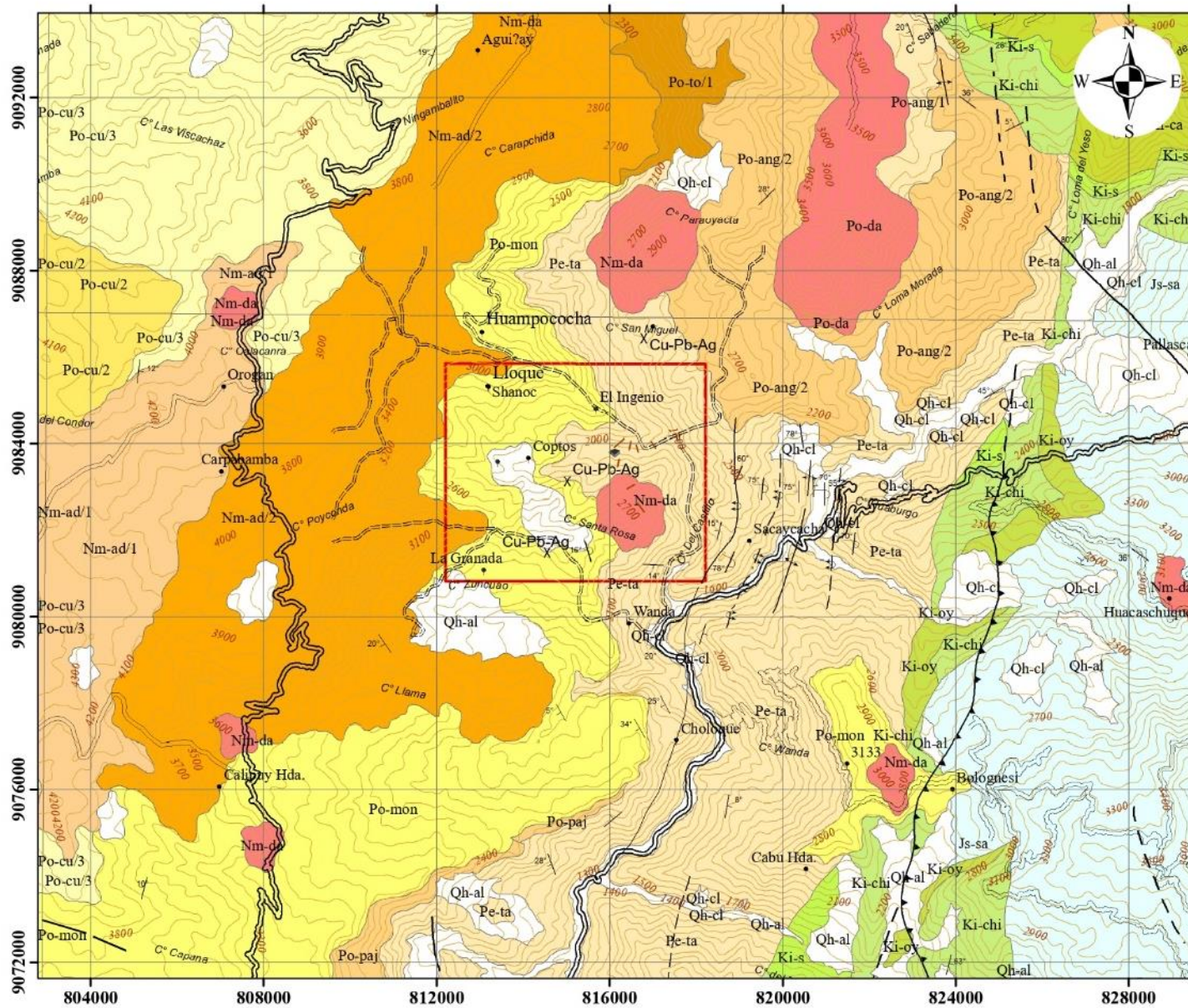
# PLANO DE UBICACIÓN



|                   |  |               |
|-------------------|--|---------------|
|                   | <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>   |               |
|                   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>          |               |
|                   | <b>INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>            |               |
| <b>PLANO:</b>     | PLANO DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO |               |
| <b>BACHILLER:</b> | MERLY GISELA MORALES MALCA             |               |
| <b>ASESOR:</b>    | SHONEL CACERES PEREZ                   |               |
| <b>ESCALA:</b>    | 1/25,000                               | <b>PLANO:</b> |
| <b>SISTEMA:</b>   | WGS 84                                 |               |
| <b>ZONA:</b>      | 17 S                                   |               |
| <b>FECHA</b>      | Mar-20                                 |               |



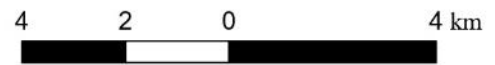
# PLANO GEOLÓGICO REGIONAL



**LEYENDA**

|  |                    |
|--|--------------------|
| Campamento   | Buzamiento         |
| x Prospectos   | Contacto           |
| Centros Poblados   | Anticlinal         |
| ==== Via de Acceso   | Anticlinal Volcado |
| <span style="border: 2px solid red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> VETAS           | - - - - Inferido   |
| <span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Área de Estudio | ▲▲▲▲ Falla Inversa |
| Curvas de Nivel  |                    |

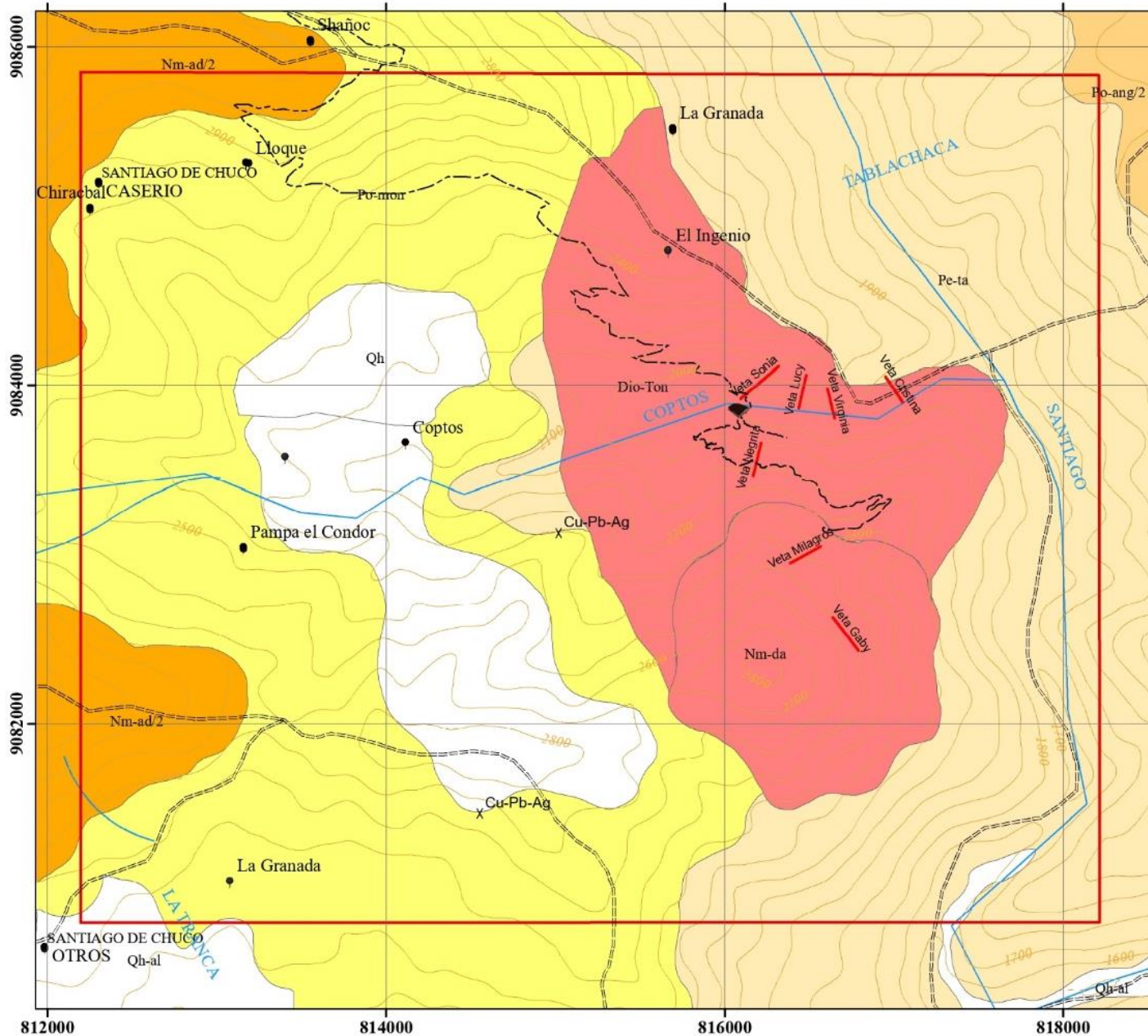
| SISTEMA     | SERIE                | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS  | ROCAS INTRUSIVAS |
|-------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| CUATERNARIO | Holoceno             | Qh: Depósito Aluvial-Coluvial | Nm-da: Dacita    |
|             |                      | Qh: Depósito Aluvial          |                  |
| NEÓGENO     | Grp. Calpuzy         | Qh: Depósito Coluvial         | Nm-da: Dacita    |
|             |                      | Nm-ad/1: Alto Dorado          |                  |
|             |                      | Nm-ad/2: Alto Dorado          |                  |
|             |                      | Po-cu/2: Corurupa             |                  |
|             |                      | Po-cu/3: Corurupa             |                  |
| PALEÓGENO   | Oligoceno            | Po-ang/1: Angasmamarca        | Nm-da: Dacita    |
|             |                      | Po-ang/2: Angasmamarca        |                  |
|             |                      | Po-mon: Moyungo               |                  |
| CRETÁCEO    | Grp. Gollaris-quizga | Pe-paj: Pajillas              | Nm-da: Dacita    |
|             |                      | Pe-ta Fm. Tablachaca          |                  |
| JURÁSICO    | Grp. Chicama         | Ki-ca Fm. Carhuaz             | Nm-da: Dacita    |
|             |                      | Ki-s Fm. Santa Chimú          |                  |
|             |                      | Ki-chi Fm. Chimú              |                  |
|             |                      | Ki-oy Fm. Chumú               |                  |
|             |                      | Js-sa Fm. Sapotal             |                  |



|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b> |  |
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>        |  |
| <b>INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>          |  |
| <b>PLANO:</b>                        | PLANO GEOLÓGICO REGIONAL                                   |
| <b>BACHILLER:</b>                    | MERLY GISELA MORALES MALCA                                 |
| <b>ASESOR:</b>                       | SHONEL CACERES PEREZ                                       |
| <b>ESCALA:</b>                       | 1/100.000 <span style="float: right;"><b>PLANO:</b></span> |
| <b>SISTEMA:</b>                      | WGS 84   |
| <b>ZONA:</b>                         | 17 S <span style="float: right;"><b>02</b></span>          |
| <b>FECHA</b>                         | Mar-20   |



# PLANO GEOLÓGICO LOCAL



**LEYENDA**

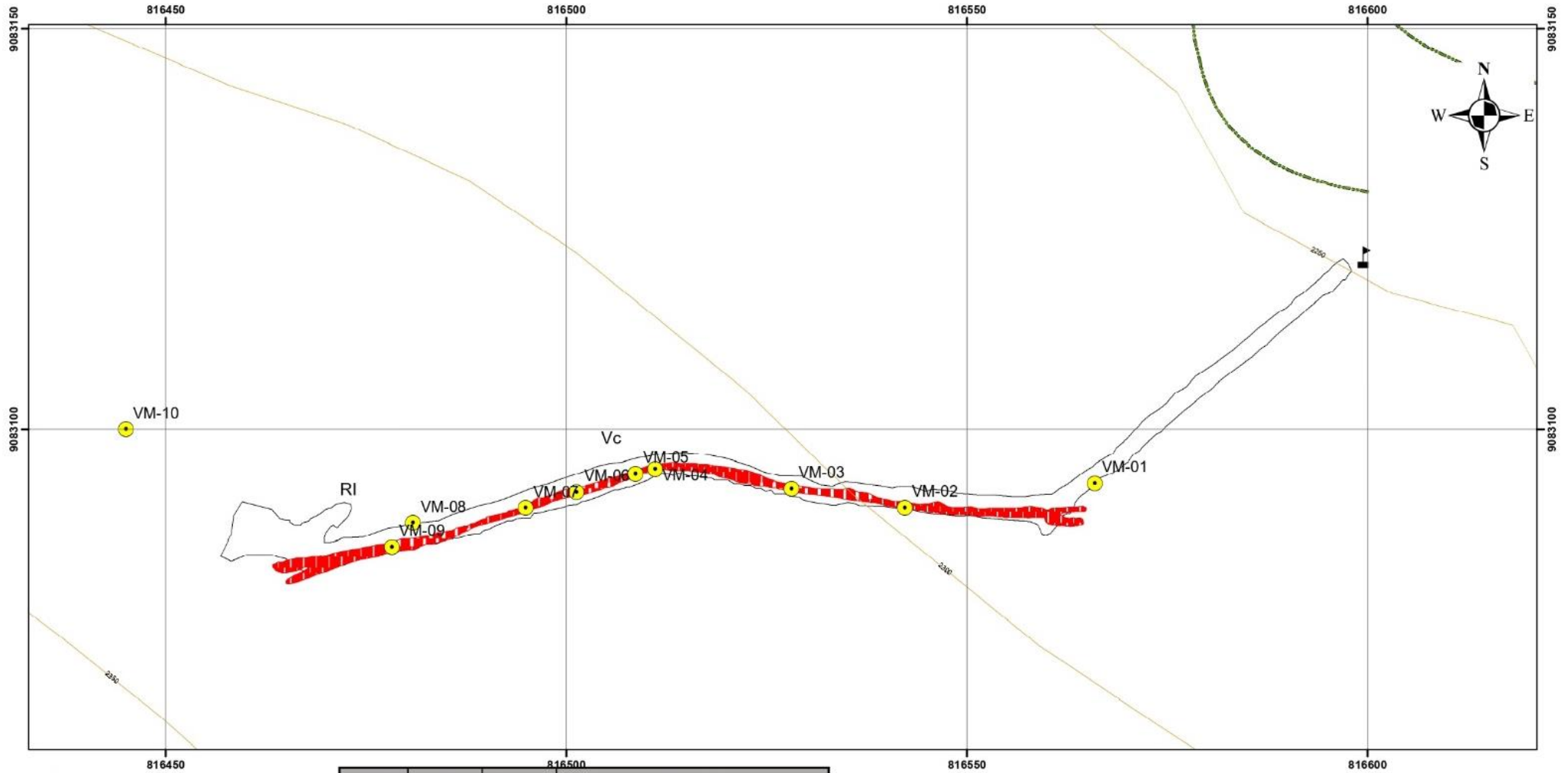
- Campamento
- x Prospectos
- Centros Poblados
- Vía de Acceso
- VETAS
- Área de Estudio
- ~ Curvas de Nivel
- ~ Ríos

| SISTEMA              | SERIE     | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS  | ROCAS INTRUSIVAS     |
|----------------------|-----------|-------------------------------|----------------------|
| CUATERNARIO          | Holoceno  | Qh: Depósito Aluvial-Coluvial |                      |
|                      | NEÓGENO   | Mioceno<br>Grp. Calipuy       | Nm-ad/2: Alto Dorado |
| Po-ang/2: Angasmarca |           |                               |                      |
| PALEÓGENO            | Oligoceno | Po-mon: Moyungo               |                      |
|                      | Eoceno    | Pe-ta: Fm. Tablachaca         |                      |

0 0.5 1 2 Km

|                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE |                            |
| FACULTAD DE INGENIERÍA        |                            |
| INGENIERÍA GEOLÓGICA          |                            |
| PLANO:                        | PLANO GEOLÓGICO LOCAL      |
| BACHILLER:                    | MERLY GISELA MORALES MALCA |
| ASESOR:                       | SHONEL CACERES PEREZ       |
| ESCALA:                       | 1/25,000                   |
| SISTEMA:                      | WGS 84                     |
| ZONA:                         | 17 S                       |
| FECHA:                        | Mar-20                     |
|                               | <b>03</b>                  |

## PLANO DE MUESTREO



| LEYENDA |              |
|---------|--------------|
|         | BOCA MINA    |
|         | Muestras     |
|         | Carretera VM |
|         | Veta         |
|         | Galería      |

| CODIGO | ESTE      | NORTE     | COMENTARIOS                            |
|--------|-----------|-----------|--|
| VM-01  | 816478.2  | 9083085.3 | Muestra de la roca caja en la galería. |
| VM-02A | 816480.84 | 9083088.3 | Muestra de alteracion de la Roca Caja  |
| VM-02B | 816480.84 | 9083088.3 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-03  | 816494.93 | 9083090.2 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-04  | 816542.21 | 9083090.2 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-05  | 816501.29 | 9083092.2 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-06A | 816528.09 | 9083092.6 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-06B | 816528.09 | 9083092.6 | Composito para prueba de flotación.    |
| VM-07  | 816565.93 | 9083093.3 | Muestra de la veta milagros            |
| VM-08  | 816508.61 | 9083094.5 | Intrusivo de la galería.               |
| VM-09  | 816511.06 | 9083095   | Muestra de la veta milagros            |
| VM-10  | 816445    | 9083100   | Composito para prueba de flotación.    |



| UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA        |                            |
| INGENIERÍA GEOLÓGICA          |                            |
| <b>PLANO:</b>                 | PLANO DE MUESTREO          |
| <b>BACHILLER:</b>             | MERLY GISELA MORALES MALCA |
| <b>ASESOR:</b>                | SHONEL CACERES PEREZ       |
| <b>ESCALA:</b>                | 1/500                      |
| <b>SISTEMA:</b>               | WGS 84                     |
| <b>ZONA:</b>                  | 17 S                       |
| <b>FECHA</b>                  | Ene-20                     |



# Anexo N° 02: Cuadro Resumen y Tablas:

| ANEXO N°02: Cuadro 2 de abreviaturas de minerales |             |  |                               |  |
|---|-------------|--|-------------------------------|--|
| Nombre  | Abreviatura | Fórmula  | Peso Especifico               | Observaciones  |
| Anatasa   | ats         | TiO <sub>2</sub>   | 3.9 g/cm <sup>3</sup>         | Muy escasos y ocurren esporádicamente como solitarios cristales euhedrales de tamaños decamimétricos (VM-03) como inclusiones en la turmalina.   |
| Anfiboles   | ANFs        | C <sub>5</sub> (Fe,Mg) <sub>4</sub> Al(Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> (OH,F) <sub>2</sub> )                                 | 3.1 - 3.3 g/cm <sup>3</sup>   | Los anfíboles ocurren como solitarios fenocristales euhedrales; son reemplazados parcial- o totalmente por cloritas (VM-11)  |
| Apatito   | ap          | C <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (F,Cl,OH)   | 3.2 g/cm <sup>3</sup>         | Ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamimétrico (VM-01, VM-02A, VM-08, VM-11).  |
| Arcillas  | ARCs        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O<br>Hidroxi-alumo-silicatos, con o sin: Ca, Na, Mg y Fe  | 2.6 - 2.8 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurren tanto como producto de reemplazamiento de los fenocristales de plagioclasas, así como parte de la matriz (VM-06B) y se presentan en agregados micrométricos. Ocurren asociadas a las Oxisales de plomo.  |
| Arsenopinita                                      | apy         | FeAsS  | 5.9 - 6.2 g/cm <sup>3</sup>   | Se presenta como cristales decamimétricos subhedrales, a modo de inclusiones en cuerpos masivos hectomimétricos de polibasita-pearceita?; algunas veces intercrecida con calcopirita (VM-02B, VM-10) o como playas en cuarzo (VM-05, VM-06A). También ocurre como ocurre como solitarios cristales decamimétricos euhedrales (VM-06B)  |
| Biotita   | bt          | K(MgFe) <sub>2</sub> (AlFe)Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>   | 2.7 - 3.4 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurre esporádicamente y reemplaza algunos fenocristales de anfíboles, suele estar alterada por cloritas. (VM-11)  |
| Bornita   | bn          | Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>   | 4.9 - 5.3 g/cm <sup>3</sup>   | Muy escaso, se observa en islas de agregados deca-micrométricos con finas inclusiones de pinita, englobados por cuarzo micro granular. (VM-05)   |
| Calcopirita                                       | cp          | CuFeS <sub>2</sub>   | 4.19 g/cm <sup>3</sup>        | Poco frecuente y ocurre como inclusiones en las playas hectomimétricas de esfalerita intercrecidas con polibasita-pearceita? (VM-02B, VM-05, VM-06A) y arsenopinita formando cristales micrométricos subhedrales.  |
| Cobregises  | CGRs        | (CuFe) <sub>12</sub> (Sb,As) <sub>4</sub> Si <sub>13</sub>   | 4.6 - 5.2 g/cm <sup>3</sup>   | Muy escasos, ocurren como playas intergranulares o rellenando microfisuras; algunas veces intercrecido con sulfosales de plata. (VM-05)  |
| Clontas   | CLOs        | (Mg,Al,Fe) <sub>12</sub> (Al,Si) <sub>8</sub> O <sub>30</sub> (OH) <sub>16</sub>   | 2.6 - 3.3 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurren de manera escasa en cristales anhedral y reemplazan a los fenocristales de plagioclasas, anfíboles y biotita. También ocurren asociados a la matriz (VM-11)  |
| Covelita  | cv          | CuS  | 4.6 - 4.76 g/cm <sup>3</sup>  | Ocurre como agregados decamimétricos irregulares acompañados de gangas no identificadas (VM-02B)   |
| Cuarzo  | cz-I        | SiO <sub>2</sub>   | 2.65 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre como fenocristales con inclusiones fluidas zircón y sulfatos (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11)   |
|   | cz-II       |  | 2.65 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre como cristales anhedral en la matriz (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11) suele estar asociado a la sericita, muscovita y pirofilita (VM-06A y 06B), o intercrecidos con playas decamimétricas de sulfuros cristalizados (VM-04, VM-05 y VM-10).  |
|   | cz-III      |  | 2.65 g/cm <sup>3</sup>        | Rellenando algunos espacios vacíos, se asocia con pinita y contiene inclusiones fluidas y cristales de zircon (VM-01). Como diminutos cristales prismáticos de jamesonita marcando el zonamiento (VM-04). Intercrecido con Sulfosales de Plata (VM-05) además presenta algunas inclusiones fluidas e intercrecimientos con agregados lanceolados de jamesonita (VM-06A y VM-10) en ocasiones también presenta inclusiones de pirofilita (VM-06B)   |
| Esfalerita  | ep          | ZnS  | 3.9 - 4.1 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurre como agregados hectomimétricos algo botroidales de color marrón rojizo, en contacto con sericita, también se presenta como playas y/o masas que contiene inclusiones de calcopirita (VM-07) y de cristales acicular-lanceolados de jamesonita (VM-06A y 06B, VM-10).  |
| Estibina  | stb         | Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   | 4.63 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre como agregados elongados hectomimétricos, en algunas ocasiones con inclusiones micrométricas de arsenopinita (VM-02B).  |
| Jamesonita  | jm          | Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>  | 5.76 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre como agregados lanceolados intercrecidos con estibina y las Sulfosales de plata (VM-02B, VM-05), también se presenta como cristales solitarios acicular-lanceolados y como inclusiones en agregados de esfalerita (VM-06A, VM-10)   |
| Jarrosita   | jar         | KFe <sub>3</sub> <sup>2+</sup> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>   | 3.1 - 3.3 g/cm <sup>3</sup>   | Escasa ocurrencia, como grunos en el cuarzo II (VM-05)   |
| Leucoxeno   | LXs         | TiO <sub>2</sub>   | 3.5 - 4.5 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurre como mubarrones, asociado a los cristales rutilo (VM-08)  |
| Muscovita   | mus         | KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>   | 2.8 g/cm <sup>3</sup>         | Ocurren esporádicamente como cristales subhedrales de tamaño decamimétrico y asociado a la sericita (Foto VM-02, VM-08 y VM-11), presentan inclusiones de rutilo, zircón y apatito (Foto VM-01).   |
| Óxidos de plomo                                   | OxPb        | Pb <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>6</sub> O   | 4.6 - 7.3 g/cm <sup>3</sup>   | Se encuentran como agregados hectomimétricos de color verdoso, intercrecidas con sericita, asociada con trazas de covelita (VM-02B).   |
| Pirita  | py          | FeS <sub>2</sub>   | 5.0 g/cm <sup>3</sup>         | Ocurre como cristales sub- a euhedrales, en las venillas y disperso en la roca. Como agregados cristalinos de tamaños decamimétricos a micrométrico, además venillas de potencias decamimétricas (VM-06A, VM-08), con oquedades y fracturas rellenas por agregados alargados y estriados hectomimétricos de estibina (VM-02B, VM-10), en gran cantidad como playas decamimétricas (VM-03) intercrecidas con Sulfosales de plata (VM-04, VM-05, VM-06B) intercrecidas en mayor proporción con turmalina (VM-07 y VM-09) |
| Pirofilita  | prf         | Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>  | 2.85 g/cm <sup>3</sup>        | Sericita de grano algo más grueso (VM-01) se presenta como intercrecimiento del CzII formando una masa que engloba a otros minerales (VM-03, VM-05, VM-06B y VM-10), en algunas ocasiones se encuentra intercrecido con turmalina (VM-07, VM-09)   |
| Piroxeno  | PXs         | (Ca,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>  | 3 - 4 g/cm <sup>3</sup>       | Mineral escaso, ocurren como fenocristales relictos subhedrales de tamaño hecto- a decamimétrico (VM-11) en la matriz.   |
| Plagioclasas                                      | PGLs-I      | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>   | 2.61 - 2.76 g/cm <sup>3</sup> | Ocurren como cristales euhedrales con relleno intergranular de cuarzo debilmente alterados por sericitas (VM-11).  |
| Rutilo  | rt          | TiO <sub>2</sub>   | 4.23 g/cm <sup>3</sup>        | Muy escasos y ocurren diseminados en cristales anhedral de tamaño decamimétrico y en asociación con muscovita (VM-01) formando una textura poiquilítica (VM-02A, VM-08, VM-11)   |
| Sulfosales de Plata                               | SFSsAg      | AgSb <sub>2</sub> (Misargirita)  | 5.29 g/cm <sup>3</sup>        | Muy frecuente se presentan en playas hectomimétricas, posiblemente sean del grupo de la polibasita-pearceita?, se encuentran intercrecidos con agregados elongados de jamesonita (VM-02B, VM-10) y estibina o con inclusiones micrométricas (VM-03) de pinita e intercrecimientos de playas decamimétricas (VM-04), en algunas ocasiones ocurren intercrecidos con las playas de esfalerita, y pirita (VM-06B)   |
|   |             | Pb <sub>3</sub> Sb <sub>11</sub> S <sub>41</sub> (Zinkserita)  | 5.12 - 5.33 g/cm <sup>3</sup> |  |
| Sericita  | ser         | KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>   | 2.85 g/cm <sup>3</sup>        | Ocurre principalmente en la matriz (VM-01 y VM-08), pseudomorfizando a los fenocristales de plagioclasas, y esporádicamente como agregados microfibras subhedrales de tamaños deca- a micrométricos (VM-02 y VM-11). También se presenta intercrecida con cuarzo y pirofilita formando una masa que engloba todos los minerales opacos (VM-03, VM-05, VM-06B y VM-10)  |
| Silice amorfa                                     | sil-am      | SiO <sub>2</sub>   | 2.63 g/cm <sup>3</sup>        | Se presenta intercrecida con el cuarzo II (VM-06A) y también en inclusiones en Cuarzo III (VM-06B).  |
| Turmalina   | tur         | (Na,Ca)(Al,Fe,Li)(Al,Mg,Mn) <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> )(OH,F) <sub>4</sub> | 2.98 - 3.26 g/cm <sup>3</sup> | Ocurre como parte importante de la veta (VM-07 y VM-09) y además ocasionalmente rellena algunas oquedades en forma de cristales prismáticos eu- a subhedrales (VM-02A). Suele ocurrir también rodeando fragmentos. En general microcristalina y de color negro (VM-05, VM-11), aunque también ocurre como cristales sub-radiados hectomimétricos, bien desarrollados con algunas inclusiones de anatasas (VM-03) Asociada con la ocurrencia de sulfuros (VM-06A, VM-07, VM-09 y VM-10).                                |
| Zircón  | zir         | ZrSiO <sub>4</sub>   | 4.6 - 4.7 g/cm <sup>3</sup>   | Ocurre esporádicamente en solitarios cristales eu- a subhedrales de tamaño decamimétrico (VM-01, VM-02A, VM-08 y VM-11).   |

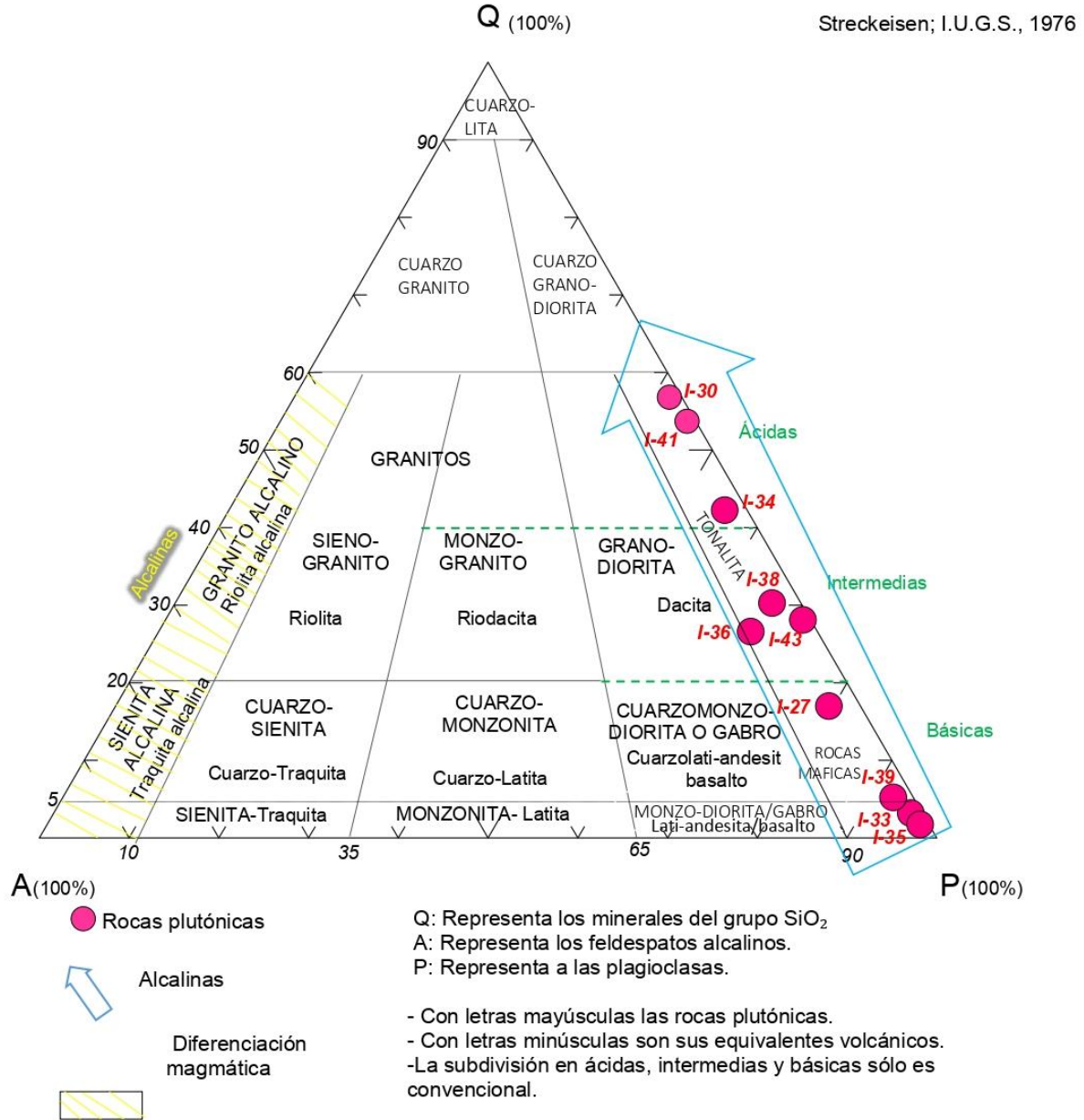
**ANEXO N°02: Cuadro 2 resumen del Estudio Microscópico óptico y electrónico**

| Muestra | Clasificación              | Textura              | Minerales  |   | Observaciones   |
|---------|----------------------------|----------------------|--|---|---|
|         |                            |                      | Abundantes   | Escasos                                   |   |
| VM-01   | Porfírita alterada         | Porfíritica          | sser (42%), czI (20%), czII (15%), mus (10%), czIII (5%), py (5%)                    | PGLsII, zir, ap, rt, prf?                 | Roca con moldes de fenocristales de plagioclasa alteradas, englobadas principalmente por una masa de sílice afanítica gris clara blanquecina, con diseminación de pirita y otros sulfuros. La textura de la roca está obliterada; sin embargo se observa moldes relictivos de fenocristales de plagioclasa, pseudomorfizados totalmente por sericita. Ocurrencia esporádica de muscovita con inclusiones de rutilo, en menor proporción zircón y apatito.         |
| VM-02A  | Porfírita alterada         | Porfíritica          | ser (45%), czII(20%), czI (15%), py (8%), mus (5%), tur (5%)                         | ARCs, SiLam, rt, zir, ap, czIII, ZEs, mel | Roca porfíritica compuesta por fenocristales de plagioclasas, de tamaños milimétricos a sub-milimétricos muy alterados, pseudomorfizados por sericita asociada a muscovita. Presenta dos tipos de venillas de potencias milimétricas unas con rellenos de cuarzo y las otras con relleno de sulfuros. En toda la muestra hay ocurrencia de micro-diseminación de grumos de sulfuros especialmente pirita.   |
| VM-02B  | Sulfuros Masivos Bandeados | Bandeada             | czII (45%), SFSsAg (20%), py (18%), OXsPb (15%)                                      | cp, apy, stb, cv                          | La muestra corresponde a una masa gris oscura compuesta por sulfuros y sulfosales oscuros a negros, con diseminación y grumos de pirita; en algunas ocasiones se evidencia cristales prismáticos alargados de tonalidad gris clara con brillo metálico que corresponden a estibina. Se observa un bandeamiento de pirita y cuarzo que bordean a los sulfuros. Se logró divisar pequeños ojos de agregados prismáticos radiados de turmalina asociados con pirita. |
| VM-03   | Sulfuros Masivos Bandeados | Bandeada             | py (30%), czIII (29%), tur (25%), ser (10%), SFSsAg (5%)                             | prf, zir, ap, rt, ats                     | La muestra corresponde a una roca de textura bandeada, la masa principal de la muestra está compuesta en su mayoría por cuarzo, turmalina y pirita. Bajo la lupa se evidencia la ocurrencia de agregados prismáticos radiados algo aciculares de turmalina con diseminación de pirita. Presencia de pirita en toda la muestra, como playas, diseminación y formando venillas de potencia submilimétricas.   |
| VM-04   | Sulfuros Masivos Bandeados | Bandeada             | py (48%), stb,jm (15%), czIII (15%), czII (14%), SFSsAg (7%)                         | ef, gn, cp                                | La muestra corresponde a una masa silícea gris oscura intercrecida con sulfuros oscuros y agregados centimétricos de pirita, formando una textura bandeada; la masa principal de la muestra está compuesta por sulfuros especialmente pirita, muy cristalizada en algunas zonas y oquedades. También se presenta un ligero bandeamiento de cuarzo hialino. Presencia de pirita en toda la muestra, como diseminación y agregados centimétricos.                   |
| VM-05   | Sulfuros Masivos Bandeados | Bandeada             | py (42%), czII (15%), czIII (10%), SFSsAg(10%), prf (9%), tur (7%), ser (5%)         | stb, CGRs, cp, apy, jm, bn, jar           | Muestra de textura bandeada, de pirita alternando con turmalina negra y cuarzo lechoso. En algunas ocasiones se presenta oquedades tapizadas por pirita cristalizada.   |
| VM-06A  | Sulfuros Masivos Bandeados | Bandeada y cocada    | czIII (35%), py (30%), ef-jm-cp (15%), SFSsAg (10%), apy (5%), cz II (4%)            | ser, prf, SiO2-am, tur                    | La muestra corresponde a una masa gris oscura compuesta por relleno de sulfuros y sulfosales con diseminación masiva o grumos de pirita. Textura cocada con una corona de cuarzo hialino a lechoso, englobados por una masa de sulfuros compuesta por esfalerita, jamesonita y calcopirita; a veces con presencia de diminutos cristales prismáticos alargados de estibina.   |
| VM-06B  | Sulfuros Masivos Bandeados | Bandeada             | py (37%), czIII (20%), ser (19%), ef (7%), czII (7%), SFSsAg (3%), jm (3%), apy (2%) | mus, prf, cp                              | Compuesta por sulfuros masivos, especialmente pirita, en arreglos bandeados con cuarzo y zonas ricas en sulfosales, de colores gris oscuros. Algunas oquedades han sido tapizadas por pirita bien cristalizada; venillas compuestas por cuarzo hialino con pirita. En algunas zonas se observa diminutos cristales de jamesonita.   |
| VM-07   | Sulfuros Masivos Bandeados | Cocada algo bandeada | tur (40%), py (30%), czIII (20%), ef (5%), prf (4%)                                  | cp  | Roca compuesta por una masa negra con sulfuros y bandeamiento centimétricos de pirita. La masa principal de la muestra está compuesta por turmalina negra asociada a sulfuros principalmente pirita, en algunas zonas muy cristalizada y tapizando oquedades. Con bandeamiento de cuarzo micro granular de tonalidad blanquecina algo cremosa con diseminación de grumos de pirita.   |
| VM-08   | Porfírita alterada         | Porfíritica          | ser (45%), czII (20%), czI (15%), py (8%), mus (5%), tur (5%)                        | zir, ap, rt, LXC                          | Roca porfíritica compuesta por fenocristales de plagioclasas muy alterados, pseudomorfizados por sericita asociada a muscovita. Presenta microvenillas con rellenos de cuarzo y las otras con relleno de sulfuros. En toda la muestra hay ocurrencia de micro-diseminación de grumos de sulfuros especialmente pirita.  |
| VM-09   | Sulfuros Masivos Bandeados | Cocada               | tur (49%), py (30%), czIII (20%)   | ef, rt, zr.                               | Masa negra con sulfuros y bandeamiento centimétricos de pirita. La masa principal de la muestra está compuesta por agregados sub radiados de turmalina negra asociada a sulfuros principalmente pirita, en algunas zonas muy cristalizada y tapizando oquedades y fracturas. Con bandeamiento de cuarzo micro granular de tonalidad blanquecina algo cremosa con diseminación de grumos de pirita, y en algunas ocasiones rellenando microfracturas y oquedades.  |
| VM-10   | Sulfuros Masivos Bandeados | Cocada               | py (35%), czIII (30%), SFSsAg (15%), apy (10%), ef-jm (5%), cz II (4%)               | ser, prf, tur, stb                        | La muestra esta compuesta por relleno de sulfuros y sulfosales con bandeamiento y diseminación masiva o grumos de pirita. Textura bandeada, compuesta principalmente por sulfuros como pirita, esfalerita, jamesonita y cuarzo hialino a lechoso; a veces con presencia de diminutos cristales prismáticos alargados de jamesonita, de tonalidad gris clara y con brillo metálico.  |
| VM-11   | Diorita                    | Fanerítica           | PLGs (45%), czII(15%), bt (14%), czI(10%), ser (5%), mus (5%), tur (5%)              | ANFs, PXs, CLOs, zir, ap, rt              | Roca diorítica de textura fanerítica. Compuesta principalmente por cristales euhedrales de plagioclasas de tamaños sub-milimétricos, cristales euhedrales a subhedrales de anfíboles y agregados intergranulares, probablemente pseudomorfizados por sericita. En algunas ocasiones se observa cristales de biotitas, algunas de ellas alterándose a cloritas.  |



## ANEXO N°02

### CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS EN EL DIAGRAMA AQP





- Anexo N° 03: Certificados de Análisis Químico.

ANEXO N°03 : Resultados del Análisis Químico

LabjobNo : FEB0071.R20  
 DespachNo : ORDEN DE SERVICIO\_SOK 2020\_0102  
 CLIENT : SAMPLING OK S.A.C  
 # of SAMPLES 6  
 DATE RECEIV 05/02/2020  
 DATE FINALIZ 17/02/2020  
 PROJECT : -  
 CERTIFICATE COMMENTS :

| SAMPLE            | G0207  | G0015                  | G0015                  | G0015                   | G0107  | G0002 | G0002  | G0343 | G0077 | G0388 | G0087 |
|-------------------|--------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                   | Weight | Au +140<br>(Ponderado) | Au -140<br>(Ponderado) | Au Total<br>(Ponderado) | Au     | Ag    | Ag     | As    | Pb    | Zn    | Sb    |
| DESCRIPTION       | kg     | g/t                    | g/t                    | g/t                     | ppm    | ppm   | onz    | %     | %     | %     | %     |
| MIN DETECTION     |        | 0.005                  | 0.005                  | 0.005                   | 0.005  | 10    | 10     | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| MAX DETECTION     |        | 5000                   | 5000                   | 5000                    | 10     | 1000  | 1000   | 30    | 30    | 30    | 30    |
| VM-02B            | 3.31   | 0.216                  | 3.643                  | 3.859                   | 3.728  | 342   | 10.602 | 0.35  | 4.77  | 0.02  | 3.83  |
| VM-04             | 5.04   | 0.472                  | 3.505                  | 3.977                   | 3.913  | 409   | 12.679 | 0.45  | 0.9   | 0.01  | 0.83  |
| VM-06B            | 5.04   | 0.192                  | 4.849                  | 5.041                   | 5.03   | 596   | 18.476 | 0.71  | 2.26  | 0.34  | 1.87  |
| VM-07             | 5.03   | 0.046                  | 1.143                  | 1.189                   | 1.123  | 20    | 0.62   | 0.12  | 0.09  | 0.01  | 0.04  |
| VM-09             | 5.04   | 0.014                  | 0.39                   | 0.404                   | 0.369  | 44    | 1.364  | 0.06  | 0.08  | 0.01  | 0.03  |
| VM-10             | 4.34   | 0.425                  | 8.187                  | 8.612                   | 8.594  | >1000 | >32.15 | 0.7   | 4.5   | 0.1   | 4.1   |
| Dup VM-02B        |        |                        | 3.694                  |                         |        | 340   | 10.54  | 0.35  | 4.8   | 0.02  | 3.84  |
| Dup VM-04         |        |                        | 3.514                  |                         |        | 3913  |        |       |       |       |       |
| Dup VM-06B        |        |                        | 4.875                  |                         |        |       |        |       |       |       |       |
| Dup VM-07         |        |                        | 1.159                  |                         |        |       |        |       |       |       |       |
| Dup VM-09         |        |                        | 0.389                  |                         |        |       |        |       |       |       |       |
| Dup VM-10         |        |                        | 8.208                  |                         |        |       |        |       |       |       |       |
| Blank             |        |                        |                        |                         | <0.005 | <10   |        | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| Std STD 178R-MA-M |        |                        |                        |                         |        | 216   | 6.696  | 1.18  | 5.59  | 4.57  | 0.35  |
| Std STD 213       |        |                        |                        |                         | 0.082  |       |        |       |       |       |       |
| Std CDN-ME-1407   |        |                        |                        |                         |        | 249   | 7.719  |       | 3.86  | 0.54  |       |

Merly Morales, 2021



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Página 1 de 6

INFORME DE ENSAYO  
 N° FEB0071.R20

Solicitante : SAMPLING OK S.A.C  
 Dirección : Mz A, Lote 1 - Urb. Los Portales Sanantiago de Surco, Lima  
 Solicitado por : Merly Morales  
 Referencia : ORDEN DE SERVICIO\_SOK 2020\_0102  
 Proyecto / Prospecto : -  
 Tipo(s) de Muestra(s) : Exploración Geoquímica  
 Estado de la Muestra : 01 Saco conteniendo muestras tipo Roca.  
 Número de muestras : 6  
 Fecha de Recepción : Miércoles, 05 de Febrero de 2020  
 Lugar de Recepción : S.J. de Miraflores, Lima  
 Fecha de Ejecución de Ensayo : 2020-02-05 al 2020-02-17  
 Fecha de reporte : Lunes, 17 de Febrero de 2020

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la(s) muestra(s) recibida(s)  
 Los ensayos han sido realizados en:

CERTIMIN S.A.  
 Av. Las Vegas 845,  
 San Juan de Miraflores - Lima,  
 Perú.  
 Teléfonos: (51-1) 205-5656.  
 Fax: (51-1) 205-5656.  
 Correo Electrónico: certimin@certimin.pe

SANTOS OROYA ROJAS  
 Gerente de Laboratorios  
 Lima, 17 de Febrero de 2020

\*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A.\*  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como "certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce".\*

CERTIMIN S.A. Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores Telf.: (51-1) 205-5656  
 e-mail : certimin@certimin.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Página 6 de 6

INFORME DE ENSAYO  
 N° FEB0071.R20  
 17-Feb.-2020

METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

| N° | Anal. (Línea)        | Cod. (Serv) | Metodología | Descripción   |
|----|----------------------|-------------|-------------|---|
| 1  | Au +140 (Ponderado)  | G0015       | IC-EF-16    | Análisis de muestras Geoquímicas Determinación de Oro por Retalla, Fracción Gruesa  |
| 2  | Au -140 (Ponderado)  | G0015       | IC-EF-16    | Análisis de muestras Geoquímicas Determinación de Oro por Retalla, Fracción Fina  |
| 3  | Au Total (Ponderado) | G0015       | IC-EF-16    | Análisis de muestras Geoquímicas Determinación de Oro por Retalla, Oro Total Ponderado  |
| 4  | Au                   | G0107       | IC-EF-01    | Muestras de Exploración Geoquímica: Determinación de Oro por Ensayos al Fuego - AAS (Validado) Rev. 02/2019                     |
| 5  | Ag                   | G0002       | IC-VH-13    | Muestra Tipo Menor: Determinación Multielemental por AAS - Digestión Multiácida (HF, HClO4, HNO3 y HCl) (Validado) Rev. 12/2019 |
| 6  | As*                  | G0343       | IC-VH-13    | Muestra Tipo Menor: Análisis Multielemental por AAS - Digestión Multiácida (HF, HClO4, HNO3 y HCl)                              |
| 7  | Pb                   | G0077       | IC-VH-13    | Muestra Tipo Menor: Determinación Multielemental por AAS - Digestión Multiácida (HF, HClO4, HNO3 y HCl) (Validado) Rev. 12/2019 |
| 8  | Zn                   | G0388       | IC-VH-13    | Muestra Tipo Menor: Determinación Multielemental por AAS - Digestión Multiácida (HF, HClO4, HNO3 y HCl) (Validado) Rev. 12/2019 |
| 9  | Sb*                  | G0087       | IC-VH-13    | Muestra Tipo Menor: Análisis Multielemental por AAS - Digestión Multiácida (HF, HClO4, HNO3 y HCl)                              |

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE\*