



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO SAPANORCCO
DE LA MINERA SACHABAMBA TANCAR SAC, DEL DISTRITO
DE PUCACOLPA, PROVINCIA DE HUANTA, REGIÓN
AYACUCHO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ANGEL RICARDO ALVAREZ LIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

Va dedicado a mis padres Sergio y Catalina.

Con mucho cariño a mi esposa Nelvia Luz, a mi hija Mayte Patricia.

A mis hermanos Edwin Noel, Sarita Roció, Fredy Rolan, Rubén Jesús (+), Elida, Gesila Esperanza.

A mis abuelos que en paz descansen Andrea, Nicolasa, Pedro.

A mis tíos Modesta y Ramón, Raymundo, Lucrecia, Alipio, Sofía, a mi cuñado Néstor.

Por último, a todos mis familiares, amigos que me apoyaron y creyeron en mí.

Ángel Ricardo ALVAREZ LIPA



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Divino Creador, por guiarme en el camino correcto.

Seguidamente agradezco a mí alma mater UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, en especial a la Escuela Profesional de INGENIERÍA GEOLÓGICA, por brindarme la formación académica.

Agradezco Al Ing. Georges Florencio Llerena Peredo asesor de tesis, por su apoyo incondicional, a los miembros del jurado, presidente M.Sc. Newton Víctor Machaca Cusilayme, primer miembro Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos, segundo miembro Ing. Luis Alberto Maydana Vilca, por sus sugerencias en la corrección de la tesis.

Al Ing. M. Sc. Ernesto Samuel Machacca Hanco, por su apoyo incondicional, como también al personal de Mega Laboratorio de la UNA, por su apoyo y su disposición.

A los docentes que me impartieron sus conocimientos al, Ing. Roberto Zegarra Ponce, Mg. Sc. Miguel Elías Calcina Benique, M. Sc. Flavio Rosado Linares, M. Sc Leonel Palomino Ascencio, Ing. Ramiro Manuel Yanque Coaquira, Ing. Agustín V. Velez Vilca, M. Sc. Andrés Olivera Chura, Dr. Victoriano Rolando Apaza Campos y a todos los docentes que me brindaron su conocimiento en mi formación académica.

Por último, a todo mis amigos y compañero que compartieron su conocimiento sobre la Geología.

Ángel Ricardo ALVAREZ LIPA



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 13

ABSTRACT. 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 17

1.2.1 Problema general..... 17

1.2.2 Problemas específicos..... 17

1.3 OBJETIVOS..... 17

1.3.1 Objetivo general..... 17

1.3.2 Objetivos específicos..... 18

1.4 JUSTIFICACIÓN..... 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

ANTECEDENTES..... 19

MARCO TEÓRICO..... 21

2.1 YACIMIENTO DE MINERALES..... 21

2.1.1. Clasificación de los yacimientos minerales..... 21

2.1.2. Textura..... 27

mn2.1.3. Paragénesis..... 28

2.1.4. Zoneamiento..... 28

2.1.5. Petrología..... 28

2.1.5.1. Rocas ígneas..... 29

2.1.5.2. Rocas sedimentarias..... 29

2.1.5.3. Rocas metamórficas..... 29



2.1.6.	Alteración hidrotermal	29
2.2.	MINERALOGÍA.....	30
2.2.1.	Minerales de mena	31
2.2.2.	Minerales de ganga.....	31
2.3.	MINERALOGÍA ÓPTICA	31
2.3.1.	Óptica mineral	32
2.3.1.1.	Estudio con luz linealmente polarizada transmitida en minerales transparentes.....	32
2.3.1.2.	Estudio con luz linealmente polarizada reflejada en minerales opacos.....	34
2.4.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	36
2.4.1.	Plegamientos y fracturación: principios fundamentales	36
2.4.1.1.	Fuerzas y esfuerzos, o el origen de la deformación.....	36
2.4.1.2.	Deformación.....	37
2.4.2.	Fallas, zonas de falla, zonas de cizalla y mineralizaciones	39
2.4.3.	Plegamiento y mineralización	41
MARCO CONCEPTUAL	42	
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	44
3.1.1.	Aspectos generales de localización	44
3.1.1.1.	Ubicación	44
3.1.1.2.	Accesibilidad.....	44
3.1.1.3.	Aspectos climáticos	45
3.2.	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	48
3.2.1.	Geología regional	48
3.2.1.1.	Estratigrafía	48
3.2.1.2.	Rocas intrusivas	55
3.2.1.3.	Geología estructural.....	56
3.2.2.	Geología local.....	57
3.3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	61
3.5.1.	Trabajo de gabinete	62



3.5.2.	Trabajo de campo	62
3.5.2.1.	Instrumentos, equipos y materiales utilizados en campo	63
3.5.3.	Trabajo de gabinete y laboratorio.....	64
3.5.3.1.	Preparación de secciones delgadas y secciones pulidas.....	65
3.5.3.2.	Estudio en microscopio petrográfico.....	66

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	CARACTERÍSTICAS DE LA VETA SAPANORCCO	68
4.1.1.	Textura	69
4.1.2.	Paragénesis.....	71
4.1.3.	Zoneamiento	72
4.1.4.	Petrología	72
4.1.4.1.	Roca metamórfica.....	72
4.1.5.	Alteraciones hidrotermales	74
4.2	TIPO DE YACIMIENTO MINERAL DE LA VETA SAPANORCCO ...	75
4.2.1.	Análisis de la clasificación	75
4.2.2.	Análisis y comparación con yacimientos.....	77
4.3	COMPOSICIÓN MINERALÓGICO DE LA VETA SAPANORCCO	79
4.3.1.	Descripción macroscópica	79
4.3.1.1.	Calcopirita.....	81
4.3.1.2.	Bornita	81
4.3.1.3.	Malaquita.....	82
4.3.1.4.	Cuarzo.....	83
4.3.1.5.	Calcita.....	83
4.3.1.6.	Pirita.....	84
4.3.1.7.	Oro	84
4.3.2.	Descripción microscópica.....	84
4.3.2.1.	Secciones delgadas	85
4.3.2.2.	Secciones pulidas.....	89
4.4	CONTROLES DE MINERALIZACIÓN DE LA VETA SAPANORCCO.....	94
4.4.1.	Control mineralógico de la veta Sapanorcco	100
4.4.1.1.	Mineralización primaria	101
4.4.1.2.	Productos de oxidación	102



4.4.2. Control estructural de la veta Sapanorcco	104
4.4.2.1. Falla de la veta Sapanorcco.....	106
4.4.2.2. Pliegues en Sachabamba y Tancar.....	107
V. CONCLUSIONES	109
VI. RECOMENDACIONES	110
VII REFERENCIAS	111
ANEXOS.....	114

Área : Geología de Minas

Tema : Prospección Geológica

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 23 de diciembre del 2019



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Deformaciones, tomadas de Lillo & Oyarzun, (2013).....	38
Figura 2.	Resumen de las estructuras en una zona de falla tomado de Lillo & Oyarzun, (2013).....	40
Figura 3.	Sectores de formación de cuerpos mineralizados tomado de Lillo & Oyarzun, (2013) el cual adapto de Sibson (2005).	42
Figura 4.	Cuenca de rio Mantaro. Toma la imagen desde el campamento de la empresa minera hacia el rio Mantaro, donde se muestra su topografía..	45
Figura 5.	Temperatura promedio, estación de Paucarbamba – SENAMHI.....	46
Figura 6.	La vegetación de la zona de estudio, en la bocamina izquierda, como en el campamento derecha.	47
Figura 7.	Precipitación mensual, estación de Paucarbamba – SENAMHI	47
Figura 8.	Presencia de neblina en la zona de estudio.	48
Figura 9.	El complejo metamórfico de la cordillera oriental de la fase Esquistos, esquistos-micáceos y filitas (PE- fi/es em/ecl).....	50
Figura 10.	Columna estratigráfica del cuadrángulo de Pampas (INGEMMET, 2003).	52
Figura 11.	Afloramientos del grupo Ambo.	53
Figura 12.	Paquetes de roca metamórfica, que posiblemente sea del grupo Tarma o simplemente sea del complejo metamórfico de la cordillera oriental, está al nivel de la bocamina.....	58
Figura 13.	Los 4 cuadrículas del denuncia minero, del cual solo se tomó la veta Sapanorcco del cuadrícula denomina Sapanorcco 2.	61
Figura 14.	Elaboración de secciones pulidas y secciones delgadas, antes de pasar los abrasivos.....	66
Figura 15.	Microscopio petrográfico, marca Leica, serial DM 750P.	67
Figura 16.	Observación de la estructura mineralizada en los trabajos que se han realizando.....	70
Figura 17.	Afloramiento de la roca metamórfica en la bocamina.	73
Figura 18.	Pizarra A. Nícoles paralelos, se diferencia la matriz con el cuarzo, B. se observa los granos de cuarzo..	74
Figura 19.	Minerales de calcopirita y calcita.	81



Figura 20.	Minerales de bornita y calcita, siempre acompañando el cuarzo.	82
Figura 21.	Mineral secundario como la malaquita en la veta Sapanorcco.....	82
Figura 22.	Minerales de calcita, se observa la estructura mineralizada de la veta Sapanorcco.....	83
Figura 23.	A. Se muestran una imagen en nicols paralelos, en donde se observa cuarzo y calcita, B. Imagen en nicols cruzados.	86
Figura 24.	A. Se observa el clivaje de calcita, B. La calcita se presenta cristalizada.	87
Figura 25.	Se observa mineral de wollastonita.	88
Figura 26.	A. Donde se observa el relieve bien definido de calcita y cuarzo, B. cristales de calcita.....	89
Figura 27.	Minerales de calcopirita y pirita de la veta Sapanorcco, las fisuras son producto de la voladura.....	91
Figura 28.	La pirita presenta una reflectancia alta como se puede observar en esta imagen.....	91
Figura 29.	Relleno de espacios vacíos de calcopirita y pirita.	92
Figura 30.	Calcopirita de la veta Sapanorcco.	93
Figura 31.	Bandeamiento de minerales en la veta Sapanorcco.....	93
Figura 32.	Direccionamiento de la pirita, tiene un flujo, mientras la calcopirita se entrelaza.	94
Figura 33.	Control fisiográfico (Tumilián, 2013), minerales secundarios como la malaquita, zonas de oxidación en círculo rojo.....	96
Figura 34.	La deposición de la mena no está relacionada con el control litológico, la roca caja no presenta cambios por la circulación de fluidos.....	98
Figura 35.	La deposición se realiza en las zonas fracturadas, mas no en la roca como es el caso de la metapelita.	99
Figura 36.	Ramificación de la veta en la roca metapelica. En interior mina no ocurrió, esta ramificación, porque es roca pizarra, mientras en la parte exterior es protolito.	100
Figura 37.	La migración de los fluidos a través de las zonas debilitadas.	102
Figura 38.	Oquedades dejadas por la oxidación.	103
Figura 39.	Exposición de la veta Sapanorcco en la superficie y en interior mina. .	104
Figura 40.	Deposición de la veta Sapanorcco en la falla inversa, fallas post mineralizados.....	105



Figura 41. Exposición de un pliegue en la veta Sapanorcco..... 108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de lindgren, modificado	23
Tabla 2.	Clasificación genética general de los yacimientos minerales de Smirnov	25
Tabla 3.	La clasificación de los modelos de yacimientos según ambiente litológico – tectónico	27
Tabla 4.	Acceso a zona de estudio	45
Tabla 5.	Secuencia paragenetica de la veta Sapanorcco.....	71
Tabla 6.	Comparación de Clasificación genética.....	76
Tabla 7.	Minerales que componen la estructura mineralizada	80



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

cp	: calcopirita
bn	: bornita
mal	: malaquita
qtz	: cuarzo
cal	: calcita
py	: pirita
Au	: oro
Cu	: cobre
FeO	: óxido de hierro
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
VRAEM	: Valle del Rio Apurímac, Ene y Mantaro
cc	: comunidad campesina
SAC	: sociedad anónima cerrada
m	: metro
µm	: micrómetro
m.s.n.m.	: metros sobre el nivel del mar
km	: kilómetros
km²	: kilómetro cuadrado
λ	: longitud de onda
v	: frecuencia
pH	: unidad de medida de alcalinidad o acidez
Eh	: es la medida del potencial de oxidación
SENAMHI	: servicio nación de meteorología e hidrología del Perú



RESUMEN

En la investigación de las características de la veta Sapanorcco, se ha requerido de un estudio geológico, un análisis para detallar la estructura mineralizada, que está ubicado entre las comunidades campesinas de Sachabamba y Tancar, del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región Ayacucho, con el objetivo de describir las características de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC, mediante el método científico analítico, de nivel de investigación descriptiva de la veta Sapanorcco, del cual se optó por la técnica de recopilación documentaria, observación en campo y laboratorio, para ello se utilizaron los instrumentos como el análisis documental, toma de datos de campo, microscopio petrográfico y software. La veta Sapanorcco tiene una textura de relleno, en donde ocurrieron dos eventos de mineralización en la fase mineral, el cual fue encajonado por la roca pizarra, siendo una estructura de relleno de fracturas emplazadas en rocas metamórficas, en donde se observó macroscópicamente minerales de calcopirita, bornita, malaquita, cuarzo y calcita, en las láminas delgadas se observaron cuarzo y calcita, en láminas pulidas se observaron calcopirita, pirita y wollastonita; el control litológico no presenta condiciones favorables, el control mineralógico interviene mínimamente como la oxidación de minerales primarios, el control estructural la que determina para la deposición de los fluidos mineralizados, en la falla inversa, de dirección o rumbo de 33° NO, con dirección de buzamiento de 63° NE. En conclusión, las características de la veta Sapanorcco, es una estructura de relleno de fracturas emplazadas en la roca metamórfica, compuesto con minerales de calcopirita bornita, pirita, malaquita, cuarzo, calcita y wollastonita, el cual se depositó en una falla inversa.

Palabras Claves: Controles de Mineralización, Mineralogía, Prospección Geológica, Tipo de Yacimiento.



ABSTRACT

In the research work about the characteristics of the Sapanorcco vein, has required a geological study, and the analysis to detail the mineralized structure, which is located between the communities of Sachabamba and Tancar localities, in the district of Pucacolpa, province of Huanta, in Ayacucho region. With the objective to describe the characteristics of the Sapanorcco vein of the Sachabamba Tancar SAC mining company, we carried out the analytical scientific method, with a descriptive research level of the Sapanorcco vein. We have chosen, the techniques of documentary compilation, field observations, and laboratory analyses. For that have carried out documentary analyses, field data compilation, microscopic and petrographic analyses, and the use of softwares. The Sapanorcco vein has a filled texture, and present two mineralization events, which are surrounded by slates, consisting in structures of filling fractures, developed in metamorphic rocks. With the macroscopic analyses, we have identified minerals as chalcopryite, bornite, malachite, quartz and calcite. Likewise, in analyses of thin sections minerals as quartz and calcite have identified, and then in a study of polished sections we have identified chalcopryite, pyrite and wollastonite. The lithological control conditions are not favorable, and in the control of mineralization, the processes of primary minerals oxidation take place. The structural control defines the deposition of mineralized fluids, which have developed in reverse fault, with 33° NW of direction, and dip direction of 63° NE. In conclusion, the structure of Sapanorcco vein, consist of filled fractures emplaced in metamorphic rocks, composed with minerals as chalcopryite, bornite, pyrite, malachite, quartz, calcite and wollastonite emplaced in a reverse fault.

Key Words: Mineralization Controls, Mineralogy, Geological Prospecting, Type of Deposit.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Al realizar la investigación de las características de nuevas estructuras mineralizadas, se realizan diversos estudios que pueda determinar el deposito del mineral, el cual tiene fases o etapas, en donde se realiza los estudios, las primeras etapas son las prospecciones geológicas, para investigar las características de una estructura mineralizada, en este caso de la veta Sapanorcco, el cual está dentro de la concesionado minera Sachabamba Tancar SAC, una pequeña empresa minera que no cuenta con los estudios geológicos, por lo que se ejecuta esta investigación para determinar las características de la estructura mineralizada.

Los diversos estudios de las características de los cuerpos mineralizados, según el grado de estabilidad de los elementos, tiene una importancia decisiva para la elección de la metodología racional de su exploración (Smirnov, 1982), el cual conlleva tener la información suficiente de la estructura mineralizada, a través de la prospección geológica, para determinar la estructura es a su vez un requisito esencial para entender la geología (Oyarzun & Doblas, n.d.), en este caso de la estructura mineralizada, por la producción que tiene las vetas y conductos de brechas epitermales (Nelson & Nietzen, 2000) por lo que tiene la importancia de realizar la investigación, para obtener una información sobre la geología económica, y muy importante para la pequeña empresa minera, que obvian muchos fases o etapas de investigación por el costo, por lo que opta directamente por la explotación y comercialización, para obtener un beneficio económico.

En el estudio de las características de la veta Sapanorcco se utilizó la metodología científica analítica, que es una secuencia de hechos para solucionar un problema, a través



de la observación en campo y laboratorio, como la recopilación de la información documentaria.

De tal manera que este estudio pueda tener una relevancia académica y práctica para ampliar el conocimiento científico sobre la geología económica y reforzar los enfoques cuyos postulados resulten comprobados, y aportará conocimiento sobre los factores que intervienen en la formación de estructuras mineralizadas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería es la actividad que el ser humano realiza para extraer y utilizar las sustancias minerales que existe en la naturaleza (Tumialán, 2003), es requerido como materia prima, para manufacturar principalmente, productos tecnológicos e industriales, y este recurso natural es no renovable, se agota, por lo tanto la única alternativa es encontrar más yacimientos mineros de minerales metálicos.

La prospección según Dávila (2011) es la investigación de una determinada región, a través de trabajos geológicos, con el objetivo de determinar la existencia de concentraciones de minerales de interés comercial. En la investigación de estructuras mineralizada se ha ido acumulando gradualmente, el conocimiento sobre su distribución, carácter y lugares donde se encuentran (Bateman, 1982), como de la veta Sapanorcco, que requiere un estudio geología económico, de la Pequeña Empresa Minera Sachamaba Tancar SAC.

Se ubica en las localidades de Sachabamba y Tancar, en donde aflora la veta mineralizada, denominado Sapanorcco, el cual necesita ser estudiado para caracterizar, lo cual nos lleva a una pregunta del problema:



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Pequeña Empresa Minera Sachabamba Tancar SAC, requiere un estudio para poder caracterizar la veta Sapanorcco, para tener la información sobre la mineralización de la mina, para la toma de decisiones correctas, y con ello poder explotar adecuadamente la estructura mineralizada, con el conocimiento pertinente del caso.

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la característica de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ✓ ¿Cuál es el tipo de yacimiento de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho?
- ✓ ¿Cuál es la composición mineralógica de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho?
- ✓ ¿Cuál es el control de mineralización de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Describir las características de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC, del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho.



1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Designar el tipo de yacimiento de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC, del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho.
- ✓ Describir la composición mineralógica de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC, del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho.
- ✓ Definir el control de mineralización de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC, del Distrito de Pucacolpa, Provincia de Huanta, Región de Ayacucho.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo describe las características de la veta Sapanorcco de la minera Sachabamba Tancar SAC, es aquí donde se encuentra la importancia de la investigación, mientras que existen multitud de estudios de las características de las estructuras mineralizados de otras localidades, no ocurre lo mismo de esta localidad, desde una óptica general y cronológico, para lo cual se utilizaron la información obtenido in situ.

En relación a su aporte teórico, esta investigación va a contribuir a aportar nuevas reflexiones, teorías y conceptos sobre la geología económica y de las estructuras mineralizados, el cual como ya hemos insistido, ha carecido hasta la actualidad del más mínimo estudio científico que supla la falta de información sobre la geología económica de esta localidad. Al mismo tiempo, este estudio contribuirá a allanar el camino para futuras investigaciones sobre la geología económica de la veta Sapanorcco.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

ANTECEDENTES

Bustamante, (2008) en su investigación titulado “Prospección geológica y geoquímica por yacimientos de Au y Cu en la cordillera oriental departamentos de San Martín y La Libertad”, en donde la metodología de investigación divide en tres etapas, en la primera comprende básicamente una fase de gabinete, en la segunda es de campo y la tercera es análisis e interpretación, los instrumentos utilizados en cada etapa es la interpretación de imágenes satelitales, Geofísica Regional, bibliografía existente del área, etc; como la obtención en el campo de la mayor cantidad información geológica, la zona de investigación es el área de alto Tocache en donde la distribución de rocas intrusivas de mesozoicas a cenozoicas ocurren al oeste de la cordillera Oriental y rocas intrusivas de edad Paleozoica Superior y algunas pequeñas ocurrencias de intrusiones terciarias ocurren al Este, y como también la complejidad estructural es significativa existiendo hasta 4 zonas con intersección de lineamientos mineralizados, asimismo existe una cantidad considerable de estructuras arco-normal y arcoparalelas y además esta área incluye un lineamiento continental de borde cratónico lo que le da un potencial prospectivo, en conclusión que la mineralización reconocida ocurre en su mayoría asociada a vetas de cuarzo emplazadas en rocas metamórficas con pirita y calcopirita diseminada, en menor proporción existe evidencias de mineralización del tipo pórfidos y skarn, es la investigación que se relaciona, porque busca determinar el yacimiento a través de la prospección geológica.



Prado, (2018) es su investigación titulado “Prospección geológica y geofísica en los sectores de Patara y Coricancha – unidad minera Huachocolpa uno, subunidad Bienaventurada”, en donde realiza un procedimiento de mapeo de interior de la mina y como el cartografiado geológico superficial utilizando las herramientas de una base topográfica y ortofotos en donde da a conocer como el reconocimiento de la geológica local en cuando a la estratigrafía, geología estructural y la geología económico, llegando a la conclusión se identificaron 3 Targets en el sector de Patara y 1 Target en el sector de Coricancha, que reúnen las características geológicas y geofísicas ideales para identificar la mineralización polimetálica en profundidad, el cual está relacionado con la investigación en el recojo de la información a través de la prospección geológica.

Chui, (2016) en su investigación titulada “Prospección geológica del Proyecto Cunuyo 2003, Sina – Puno”, en donde lo realizó en cuatro etapas, en la etapa de recopilación y revisión bibliográfico se adquirió toda la información bibliográfico de los trabajos anteriores del proyecto, como de INGEMMET, en la etapa de trabajo campo se utilizó instrumentos de mapeo geológico, recolección de muestras de canales, toma de imágenes, en la etapa de trabajo de gabinete se almacena los datos en la base de datos software Microsoft Excel y elaboración de planos en software ArcGIS 9.3 y AutoCAD y la última etapa en la redacción del informe final, con lo cual se logró obtener el contenido mineralógico como la presencia óxidos de hierro (FeO) (hematita, limonita, jarosita, goethita), cuarzo, y sulfuros pirita, calcopirita arsenopirita unidos a mineralización de oro, la litología presente son rocas arenisca cuarcítica, pizarras y depósitos cuaternarios, en conclusión la estructura mineralizada principal consiste en un manto de textura brechoide y terrosa (arcillosa), producto de un fallamiento posiblemente normal durante la etapa de pre-mineralización y por reactivación en la etapa sin mineralización y post-mineralización, dando la apariencia de ser un material molido en el espacio del salto de



falla. En superficie se observa que esta estructura se encuentra con una textura porosa producto de una lixiviación y oxidación supérgena. Contiene leyes de Oro (Au) y posibles mantos (secundarios) paralelos hacia el piso que necesita hacer un estudio detallado para caracterizarlo, por el cual esta investigación está relacionado en su desarrollo sobre la composición mineralógico y los controles de mineralización.

MARCO TEÓRICO

2.1 YACIMIENTO DE MINERALES

Yacimiento es un lugar o terreno donde se ubican minerales de rendimiento económico o fósiles (Dávila, 2011), pero si hacemos referencia a yacimiento mineral se denomina así a una concentración natural de minerales que presenta razonables posibilidades de ser explotado con provecho económico, ya sea en el presente o en el futuro relativamente cercano (Oyarzún & Oyarzún, 2014).

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS MINERALES

Bateman, (1982) indica que una clasificación debe ser lógica, sistemática y permitir una separación lo más categórico posible, pero los yacimientos minerales son entidades que presenta grandes variaciones en su forma, tamaño, contenido mineral, valor económico y origen (Servicio Geológico Mexicano, 2017) pero requiere el examen de un gran número y tipos de distritos mineros; sus semejanzas y diferencias deben ser anotadas y descritas (Consejo de Recursos Minerales, 2005a).

En la sistematización de los yacimientos según **Servicio Geológico Mexicano**, (2017), han predominado las clasificaciones por forma y sustancia, las genéticas y últimamente las de tipos de yacimientos, los cuales se detallan.

a. Clasificación por forma y sustancia



Es la más sencilla, presenta interés para el minero y geólogo que calcula las reservas minerales de los yacimientos. Son bastante simples y no abarcan todos los conocimientos sobre los yacimientos minerales. Una clasificación basándose en este concepto sería:

- *Yacimientos regulares:* Filones (fisuras, estratos, contacto, lenticulares).
- *Yacimientos irregulares:* Stocks (masas irregulares con límites definidos) e impregnaciones (masas irregulares con límites indefinidos).

Y otra clasificación utilitaria como: minerales de construcción, abrasivos, fertilizantes, piedras preciosas, menas metalizas ferrosas, menas no metálicas ferrosas y materiales industriales.

b. Clasificaciones genéticas

Esta clasificación estaría más cercana de la clasificación ideal, pero sólo si las teorías que las sustentan son sólidas y esencialmente completas y si los objetos por clasificar se acomodan fácilmente en los casilleros prefabricados con tal fin, pero en general, cae en el término adecuado. Las clasificaciones que representan son de Lindgren (1913), Niggli (1929), Schneiderhöhn (1941) y Smirnov (1982).

- *Clasificación de Lindgren.* Una de las clasificaciones genéticas que apareció en 1913 con Lindgren y que fue modificado esta clasificación (Tabla 1), se basa de acuerdo a temperatura y presión, el cual fue una de los esquemas más representativas, que hasta ahora esta clasificación tiene gran acogida.
- *Clasificación de Niggli.* Es una agrupación de las menas epigenéticas en volcánicas, o próximas a la superficie, y plutónicas, o de asentamiento profundo (CRM, 2005a) en donde Niggli en 1929 propone esta clasificación, basándose en su génesis y mineralogía.



Tabla 1. Clasificación de Lindgren, modificado

<ul style="list-style-type: none">- Depósitos producidos por procesos químicos de concentración; las temperaturas y presiones varían entre límites amplios.- En magmas de procesos de diferenciación.- Yacimientos propiamente magmáticos, yacimientos de segregación magmática, yacimientos por inyección. Temperaturas entre 700° y 1500° C; presiones muy altas.- Pegmatitas. Temperatura muy alta a la moderada, presión muy alta.- En formación de rocas.- Concentración efectuada por introducción de sustancias extrañas a las rocas (epigenético).- Origen dependiente de la erupción de rocas ígneas.- Yacimientos vulcanogénicos asociados normalmente a acumulaciones volcánicas.- Temperaturas entre 100° y 600° C; presión atmosférica o moderada.- A partir de masas efusivas. Sublimados, fumarolas. Temperatura de 100° a 600° C; presión atmosférica o moderada.- A partir de masas efusivas. (Yacimientos ígneo metamórficos). Temperaturas oscilando probablemente entre 500° y 800° C; presión muy alta.- Por aguas calientes ascendentes de origen incierto, probablemente magmáticas, metamórficas, oceánicas, connatas o meteóricas.- Yacimientos hipotermales. Deposición y concentración a grandes profundidades, temperatura y presión elevadas. Temperatura entre 300° y 500° C. Presión muy alta.- Yacimientos mesotermales. Precipitación y concentración a profundidades intermedias. Temperatura de 200° a 500° C; presión alta.- Yacimientos epitermales. Precipitación y concentración a poca profundidad. Temperatura de 50° a 200° C; presión moderada.- Depósitos teletermales. Precipitación a partir de “soluciones gastadas”. Temperatura y presiones bajas; es el término más alto del rango hidrotermal.- Depósitos xenotermales. Precipitación y concentración a profundidades someras, pero a temperaturas altas. Temperatura alta a baja; presión moderada a atmosférica.- Origen por aguas meteóricas circulando a profundidades moderadas o ligeras.- Temperatura superior a 100° C; presión moderada.- Por concentración a sustancias contenidas en el propio conjunto geológico.- Concentración por metamorfismo dinámico o regional. Temperatura superior a 400° C; presión alta.- Concentración por agua subterránea de circulación más profunda. Temperatura 0° a 100° C; presión moderada.- Concentración por desintegración de las rocas y alteración residual cerca de la superficie. Temperatura 0° a 100° C; presión moderada o atmosférica.- En medios acuosos.- Vulcanogénicos. Emanaciones termales submarinas asociadas con vulcanismo.- Temperaturas altas a moderadas; presión baja a moderada.- Por interacción entre soluciones. Temperatura de 0° / 70° C; presión moderada.- Reacciones inorgánicas.- Reacciones orgánicas.- Por evaporación de los disolventes.- Yacimientos producidos por procesos mecánicos de concentración. Temperatura y presión moderada a baja.
--

Nota: Lindgren modificado, tomada de la revista de concejo de recursos minerales, (2005b).

- *Clasificación de Schneiderhöhn.* En 1941 formuló una clasificación genética más extensa, presentando en base a 1) la naturaleza del fluido mineral; 2) las asociaciones minerales; 3) distinción entre deposición cercana a la superficie y

deposición profunda y 4) el tipo de deposición, huésped o ganga (CRM, 2005a), por consiguiente es una clasificación mena-asociación.

- *Clasificación de Smirnov.* De la escuela rusa, Smirnov en 1982 presenta su clasificación en su obra titulado Geología de Yacimientos Mineros, lo ubica los depósitos minerales en un marco tectónico - formacional (SGM, 2017) como se puede ver en su esquema (tabla 2).

c. Clasificación por tipos de yacimientos

Para una veraz clasificación de un depósito mineral y su material rocoso asociado, se deberá disponer de información geológica suficiente que incluya estudios de metalogenia, geología histórica de la zona y, sobre todo, de núcleos de barrenación provenientes de un programa reciente de exploración aún, en localidades donde se disponga de suficiente información obtenida en exploraciones y estudios anteriores. En forma general se pueden identificar los siguientes tipos de depósito:

- *Depósitos Masivos.* Depósitos de extensión considerable, tanto en sentido horizontal como vertical dentro de los cuales la mineralización está distribuida en forma relativamente uniforme.
- *Depósitos Estratiformes.* Depósitos alojados paralelamente a los planos de estratificación de la roca huésped, la cual invariablemente está formada por rocas sedimentarias.
- *Vetas.* Zonas de mineralización de gran longitud con un ángulo de buzamiento pronunciado, pueden ser angostas de poca potencia (menos de 3 m) y anchas o de gran potencia (mayor de 3m).
- *Cuerpos Lenticulares (clavos).* Cuerpo mineral en forma de lente que se presenta aisladamente en zonas mineralizadas alojado dentro de depósitos masivos, mantos o vetas (sulfuros simples).

Tabla 2. Clasificación genética general de los yacimientos minerales de Smirnov

Serie	Grupo	Clase	Subclase
Endógena	Magmático	De licuación Magmática temprana Magmática tardía	
	Pegmatítico	Pegmatitas simples Pegmatitas recristalizados Pegmatitas metasomáticamente sustituidos	
	Carbonatítico	Magmática Metasomática Combinada	
	De skarn	De skarn caliza De skarn magnesiano De skarn silicato	
	De albitagrésen	Albitítica De grésen	
	Hidrotermal	Plutonógena Vulcanógena Amagmatógena (teletermal y estratiforme)	
	Pirítico	Metasomático Vulcanógeno-sedimentaria Combinada	
Exógena	De meteorización	Residual De infiltración	
	De placer	Eluvial Diluvial Proluvial Aluvial	De lengua de tierra De cause De valle De delta De terraza Lacustre Marina Oceánica De morena Fluvioglacial
	Sedimentario	Lateral Glacial Mecánico Química Bioquímica Vulcanógena	
metamorfógena	Metamorfizada	De metamorfismo regional De metamorfismo de contacto	
	Metamórfica		

Nota: Smirnov, (1982), tomado en su tratado de geología de yacimientos minerales

- *Depósitos Tabulares (chimeneas)*. Cuerpos masivos de forma cilíndrica y de dimensiones variables, con un desarrollo vertical significativamente mayor que su extensión horizontal.



- *Depósitos de Placer*. Depósitos sedimentarios superficiales o cercanos a la superficie, generalmente de forma tabular y de extensión considerable (oro, platino, estaño, detritos).

Mientras **Griem**, (2017) la clasificación tiene que ser aplicables, con base científico, el cual propone clasificación por ambiente de formación, por forma o simetría del yacimiento, y por contenido químico.

a. Clasificación por ambiente de formación.

En este tipo de clasificación los ambientes geológicos donde se formó un yacimiento definen el grupo. Por ejemplo: Sedimentario, Magmático y metamórfico. Además, hay que agregar sub-facies como hidrotermal, intramagmatico.

b. Clasificación por forma o simetría del yacimiento.

La simetría o la forma de un depósito da grupos bien definidos de diferentes yacimientos. Los métodos de explotación dependen mucho de la forma del yacimiento.

c. Clasificación por contenido químico.

Posiblemente la manera más científica en agrupar diferentes depósitos. Los problemas son, que casi todos los yacimientos son polimetálicos, es decir más de un elemento químico con valor económico hay que tomar en consideración.

Ariosa & Díaz, (2001) expone una clasificación tipológica de los modelos válidos para ser utilizada en los trabajos de prospección y exploración, como de Cox, Singer, & Rodriguez, 1987 los cuales proponen un esquema de la clasificación de los modelos de yacimientos (Tabla 3).

En Perú, **Tumialán**, (2003) presenta una clasificación de los tipos de yacimientos existentes, en su obra de Compendio de Yacimiento de Minerales del Perú, donde

describe las características de estos depósitos que son explotados y explorados en esta parte de los andes y que además está en el círculo de fuego.

Tabla 3. La clasificación de los modelos de yacimientos según ambiente litológico – tectónico

Ambiente de deposición		
Ígneo	Intrusivo máfico - ultramáfico	Área estable Área inestable
	Intrusivo alcalino y básico	
	Intrusivo félsico	Fanerocrystalino Pórfido - afaníctico
	Extrusivo máfico Extrusivo félsico – máfico	
Sedimentario	Rocas clásticas Rocas calcáreas Sedimentos químicos	
Metamórfico regional	Metavolcánico y metasedimentario Metapelítico	
Superficial	Residual Deposicional	

Nota. Tomada de Cox et al., (1987)

2.1.2. TEXTURA

Tamaño, forma y deposición de los minerales componentes de las rocas (Dávila, 2011) o minerales está configurado por rasgos estructurales finos, incluidos los relativos al crecimiento cristalino (Oyarzún & Oyarzún, 2014), en fin la textura es el estudio de los granos de la mineralización, el tamaño de los mismos, su forma cristalizada y la relación entre los mismos (Tumialán, 2003).

Las texturas de mineralización son: textura equigranular, textura de exsolucion, textura de reemplazamiento, textura de relleno, textura colofoma.



2.1.3. PARAGÉNESIS

La paragénesis es la asociación de minerales cristalizados en equilibrio en el seno de una roca o de un proceso de mineralización (Dávila, 2011), y es la secuencia paragenética en el orden de cristalización de los minerales, se obtiene estudiando las texturas de las estructuras mineralizadas (Tumialán, 2003).

2.1.4. ZONEAMIENTO

Zoneamiento es la distribución espacial de los minerales según las condiciones de temperatura, presión y rasgos geológico durante la deposición de los minerales. Este zonamiento se observa a diferentes escalas (Tumialán, 2003), por otro lado hacen referencia a la zonalidad que es patrón regulador de distribución de los minerales o de los modelos de fábrica en zonas, en la corteza terrestres, (Dávila, 2011).

2.1.5. PETROLOGÍA

La petrología es la ciencia que se ocupa del estudio de las rocas que están formadas por conjuntos de minerales definidos y componen la mayor parte de la tierra, por lo cual trata del modo de ocurrencias, la composición, origen y la clasificación de las rocas, así como de sus relaciones con los procesos e historia geológica de la tierra, es una de las ramas de la geología. La petrología se divide en dos ramas importantes como la petrografía que es la descripción y clasificación, la petrogenesis en el origen y la formación de la rocas (Huang, 1991).

Para desarrollar el estudio de las rocas se clasifican en tres de acuerdo a su génesis como rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.



2.1.5.1. Rocas ígneas

Son rocas cristalinas o vítreas que se forman a partir del enfriamiento y solidificación de magma, proceso que puede ocurrir debajo de la superficie terrestre o después de una erupción volcánica en la superficie. En cualquiera de las dos situaciones las rocas resultantes se denominan rocas ígneas (Méndez, 2006).

2.1.5.2. Rocas sedimentarias

Se formaron por la acumulación de sedimentos que se consolidaron en rocas duras, firmes, estratificados. Los sedimentos pueden estar integrados por fragmentos de roca de diferentes tamaños, minerales resistentes, restos de organismos y productos de acción química o de evaporación o mezclas de estos (Huang, 1991).

2.1.5.3. Rocas metamórficas

Abarcan aquellos conjuntos minerales que han sufrido ajustes estructurales y mineralógicos a ciertas condiciones físicas o químicas, o combinaciones de ellas, impuestas por la profundidad. La presión, la energía térmica o el calor, y los fluidos químicamente activo, pueden todos haber intervenido en el cambio de una roca originalmente ígnea o sedimentaria en roca metamórfica (Huang, 1991).

2.1.6. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca (Townley, 2001), esta interacción conlleva cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada producto de desequilibrio termodinámico entre ambas fases. En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerado como un proceso de metasomatismo, dándose



transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto.

En la naturaleza se reconocen variados tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción, entre otros.

2.2. MINERALOGÍA

La mineralogía pertenece a las ciencias geológicas, que estudia la naturaleza y formación de minerales según Dávila, (2011) que abarca todos los problemas referentes a los minerales, comprendido el del origen de los mismos, que tiene una composición química y propiedades físicas. La mineralogía se divide en: Mineralogía general que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales; Mineralogía descriptiva que estudia la clasificación y descripción de los minerales; y Mineralogía Especial que trata de una especie mineral en forma exclusiva.

Al realizar las visitas al campo, se realiza la observación macroscópica, hace la referencia al reconocimiento de minerales en muestra de mano o de visu es una herramienta muy útil en el trabajo de campo del Geólogo ya que permite una primera aproximación al tipo de materiales geológicos que se están observando (Departamento de Cristalografía y Mineralogía, n.d.), y en todo yacimiento existe minerales de mena y minerales de ganga.

Las propiedades minerales que se puede reconocer por una simple observación o mediante pruebas sencillas son la forma, hábito, color, raya o huella, brillo, peso específico o densidad relativa, dureza, exfoliación, fractura y magnetismo.



Además, se determina cuáles son minerales que pueden ser explotados de valor económicos, como también determinar minerales de ganga.

2.2.1. MINERALES DE MENA

Son los minerales que pueden utilizarse para obtener uno o más metales. En su mayoría son minerales metálicos, tales la galena, que se extrae para la obtención de plomo. Unos pocos son minerales no metálicos, tales como la malaquita, la bauxita o la cerusita, minerales de cobre, aluminio y plomo (Bateman, 1982), los metales de comercio se obtienen de muchas combinaciones metálicas

2.2.2. MINERALES DE GANGA

Los minerales de ganga son las materias no metálicas asociadas a un depósito. Pueden ser minerales o rocas de caja sin valor económico, y usualmente se desechan al proceder al tratamiento del mineral. Comúnmente, la ganga contiene tan solo minerales no metálicos, pero técnicamente puede serlo, tales como la pirita, que usualmente se desecha por no tener valor (Bateman, 1982)

2.3. MINERALOGÍA ÓPTICA

Parte de la mineralogía que se ocupa del estudio de las propiedades ópticas de los minerales (Dávila, 2011), entonces es el reconocimiento de minerales a través de un instrumento como es el microscopio óptico petrográfico, en el cual se introduce una placa de vidrio impregnada de una muestra de mineral para determinar los minerales que compone una muestra, como también una muestra pulida y encapsulada en resina. Las propiedades ópticas que se puede observar son la forma, hábito, color y pleocroísmo, exfoliación, relieve, birrefringencia y extensión

2.3.1. ÓPTICA MINERAL

pueden explicarse suficientemente, a nivel elemental, mediante la teoría ondulatoria, considerando la luz como un segmento del espectro electromagnético. Esto permite interpretar sus propiedades como las de un movimiento ondulatorio, definido por su longitud de onda (λ), frecuencia (ν) y amplitud y por fenómenos característicos, como los de propagación en el espacio, interferencia entre ondas, refracción, etc., estudiados en física elemental (Castroviejo, 2005), la investigación de los minerales no está inmerso de esta realidad, por ello se aplica toda esta teoría para determinar sus características que tiene cada mineral, para luego determinar a través de la observación que minerales están presentes.

En la investigación de los minerales presenta un características que divide para él estudio como son índices óptico (de refracción o de reflexión, según sea el caso de minerales transparentes u opacos) en tres diferentes direcciones siempre ortogonales entre si (conocidas como direcciones privilegiadas) según Chirif, (2010).

2.3.1.1. Estudio con luz linealmente polarizada transmitida en minerales transparentes

Se realiza el estudio de minerales transparentes, en el cual se identifica sus características para determinar cómo está compuesto la estructura mineralizada, por el cual para Chirif, (2010) indica que el estudio con nícoles paralelos, determina el color, pleocroísmo, el relieve, el tamaño, la morfología y el clivaje, por otro lado el estudio con nícoles cruzados se identifican las direcciones de los índices de refracción del mineral y se puede identificar el índice mayor y menor, esta determinaciones las hacemos a través de estudios de las propiedades extensión, los colores de interferencia, la birrefringencia y la elongación, del cual se toma estas características para él estudio.



Color. El color de un mineral en lámina delgada no presenta tantas variaciones como se verían macroscópicamente, entonces para Chirif, (2010) la descripción del color la hacemos tomando en cuenta el color principal, la intensidad y la tonalidad.

Pleocroísmo. Es la capacidad de algunos minerales de mostrar diferentes colores cuando la luz es transmitida en direcciones diferentes, pero esta determinación esta en función a la magnitud del cambio podemos calificar al pleocroísmo como fuerte, moderado o débil (Chirif, 2010).

Relieve. Es una propiedad de los minerales transparentes que hace ver mas altos a los granos de minerales de índice de refracción mayor que el de los vecinos, mientras que los granos con índice menor, se ven como depresiones (Chirif, 2010).

Tamaño. Para la medición del tamaño de los cristales, se requiere previamente saber la medida de las unidades marcadas en el ocular.

Morfología. Según el desarrollo de sus formas, los cristales pueden ser euhedrales, subhedrales, o anhedrales.

Clivaje. La calidad de clivaje la podemos calificar como perfecta, buena, mediana, mala, imperfecto o ausente.

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

Color de interferencia. Es el color formado por la interferencia de los rayos desfasados al abandonar un medio anisotrópico.

Birrefringencia. Es la diferencia entre el índice de refracción mayor y menor de un mineral.

Extinción. Cuando las direcciones privilegiadas del mineral y del microscopio coinciden, la dirección de vibración del rayo de luz linealmente polarizada, que incide en el mineral, no cambia al atravesarlo y en consecuencia no pasa luz a través del analizador. Decimos,



entonces, que el mineral se encuentra en su posición de extinción, la cual se repite cada 90° (Chirif, 2010).

Elongación. La relación entre las direcciones de los índices de refracción ya identificados y el largo de un cristal de extinción paralela o subparalela.

Maclas. La macla es la agrupación regular de dos o más individuos de un mismo mineral con diferente orientación y según alguna ley de simetría (plano, eje o centro de macla).

Zonamiento. Durante el desarrollo de un cristal se presentan casos de variación de la composición, ya sea a nivel de elementos mayores o de elementos trazas. El estudio del zonamiento permite conocer la evolución del desarrollo del cristal (Chirif, 2010).

2.3.1.2. Estudio con luz linealmente polarizada reflejada en minerales opacos

Chirif, (2010) indica que la microscopia de polarización con luz reflejada se emplea para el estudio de minerales opacos, es decir, cuerpos que no dejan pasar luz. Estos minerales presentan absorción alta, índice de refracción por lo general mayor a 2.4 y reflectancia alta.

El microscopio de luz reflejada se refiere en términos de mena a los minerales opacos, y con termino ganga, a los transparentes o traslucidos que acompaña a los primeros.

Color. Se refiere a la superficie pulida de un mineral observada con luz reflejada, en donde se realiza la descripción del color tomando en cuenta el color principal, la intensidad y la tonalidad (Chirif, 2010).

Pleocroísmo. Variación de color o la tonalidad la girar la platina.

Reflectancia. La capacidad de mineral para reflejar la luz en otra palabras es la relación entre la intensidad de la luz reflejada y la de la luz incidente, expresados en porcentajes,



en donde un mineral tiene una reflectancia alta si esta es mayor que la de la galena (42.9%), reflectancia media si es menor que la de la galena y mayor que la de la esfalerita (18.4%), y diremos que tiene reflectancia baja si es menor que la de esfalerita (Chirif, 2010).

Birreflectancia. La máxima diferencia de reflectancia de un mineral se conoce como bireflectancia

Dureza relativa. Es una estimación cuantitativa que hacemos por comparación de los efectos del pulido sobre diferentes minerales que ofrecen diferente resistencia a la abrasión.

Tamaño. Para la medición del tamaño de los cristales, se requiere previamente saber la medida de las unidades marcadas en el ocular.

Morfología. Los cristales individuales, según el desarrollo de su forma externa, puede ser euhedrales, subhedrales, o anhedrales.

Clivaje. La calidad de clivaje la podemos calificar como perfecta, buena, mediana, mala, imperfecto o ausente.

Anisotropía. La luminosidad que presenta los minerales anisotrópicos entre nicoles cruzados y sus cambios al girar la platina.

Reflexiones internas. Cuando la luz penetra en el interior de minerales translucidos y se refleja en contactos, planos de clivaje, microfracturas o inclusiones, la superficie del grano se vera iluminado con un color relativamente característico para cada mineral (Chirif, 2010).

Maclas. La macla es la agrupación regular de dos o más individuos de un mismo mineral con diferente orientación y según alguna ley de simetría (plano, eje o centro de macla.



Zonamiento. Durante el desarrollo de un cristal se presentan casos de variación de la composición, ya sea a nivel de elementos mayores o de elementos trazas. El estudio del zonamiento permite conocer la evolución del desarrollo del cristal.

2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Es la ciencia que estudia las deformaciones de la corteza terrestre relacionadas con el tiempo geológico. Estudia las deformaciones orogénicas, diastróficas, epirogénicas, etc. las deformaciones pueden ser pliegues (homoclinales, anticlinales, sinclinales, domos, etc.), fallas (normales, inversas, etc.), intrusiones (vetas, diques, lacolitos, batolitos, etc.) (Dávila, 2011).

2.4.1. PLEGAMIENTOS Y FRACTURACIÓN: PRINCIPIOS

FUNDAMENTALES

2.4.1.1. Fuerzas y esfuerzos, o el origen de la deformación

Fuerzas

Se define fuerza como una magnitud vectorial que tiende a producir un cambio en el movimiento de un cuerpo o en su estructura interna, es decir, tiende a producir una deformación. Debido a su carácter vectorial, varias fuerzas actuando sobre un mismo punto pueden combinarse o sumarse en una sola y, similarmente, una fuerza puede considerarse que está compuesto de varias y puede y puede descomponerse en ellas. Hay dos tipos de fuerzas: del cuerpo (o máscas) y de superficie (Martinez, 2003).

Esfuerzo

El esfuerzo (stress) se define como la fuerza por unidad de superficie que soporta o se aplica sobre un plano cualquiera de un cuerpo. Es decir, es la relación entre la fuerza aplicada y la superficie sobre la cual se aplica. Es importante comprender esta relación

entre fuerza aplicada y superficie sobre la que se aplica: una fuerza aplicada a un cuerpo es la misma con independencia de la superficie del mismo sobre la cual se aplique. De hecho, se aplica a todo el cuerpo y, por tanto, a todas las infinitas superficies contenidas en el, aunque nosotros podemos considerar su efecto sobre una o varias en particular. En cambio, esa misma fuerza no genera el mismo esfuerzo sobre cada una de las superficies del cuerpo, pues al variar la superficie, varía la relación fuerza/superficie, que es el esfuerzo (Martínez, 2003).

2.4.1.2. Deformación

Definimos deformación como cualquier cambio en la posición o en las relaciones geométricas internas sufrido por un cuerpo como consecuencia de la aplicación de un campo de esfuerzos y explicamos que una deformación puede constar de hasta cuatro componentes: translación, rotación, dilatación y distorsión. En el caso general, una deformación las incluye a todas, pero deformaciones particulares pueden constar de tres, dos o una de las componentes (Martínez, 2003).

La deformación puede ser:

- Continua, cuando el cambio de forma o tamaño tiene lugar de manera continua, sin cambios bruscos (Fig. N° 01).
- Discontinuo, cuando existe cambios importantes o variaciones acusadas de la deformación, a través de superficies o zonas discretas.
- Homogénea, cuando cada partícula o parte de la roca es deformada de la misma manera.
- Inhomogénea: la cuantía de la deformación varía notablemente en un volumen de roca dado (Lillo & Oyarzun, 2013).

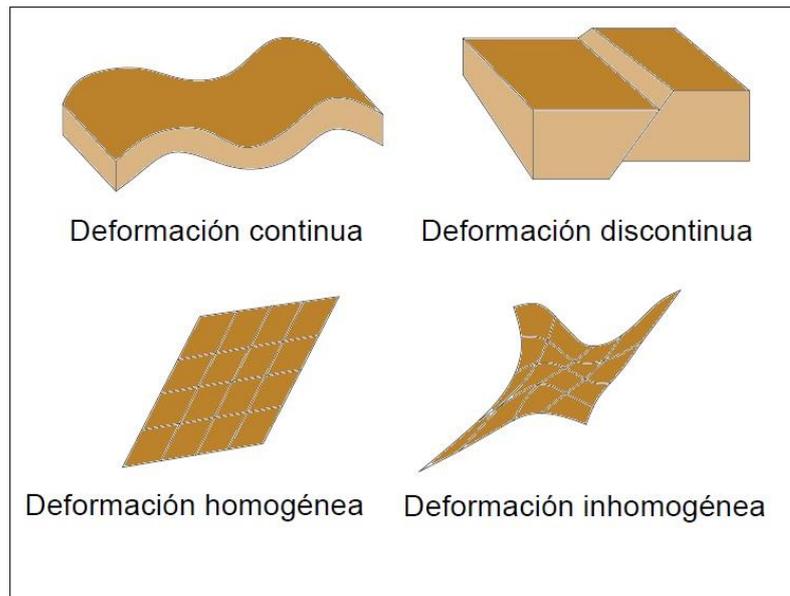


Figura 1. *Deformaciones, tomadas de Lillo & Oyarzun, (2013).*

Si consideramos la relación entre la variación de los esfuerzos aplicados y la deformación producidas, podremos ver que existen en los materiales tres tipos de comportamiento:

- *Comportamiento frágil*: implica una deformación elástica con pérdida brusca de la resistencia, a través de un plano o conjunto de planos, sin ninguno o muy poca deformación plástica. Este comportamiento es común en rocas coherentes sanas, las típicas rocas duras.
- *Comportamiento frágil-dúctil*: implica deformaciones elásticas y plástica, con una resistencia residual mayor. Este comportamiento es común en rocas con discontinuidad preexistente y arcillas, las típicas rocas blandas.
- *Comportamiento dúctil*: implica deformación plástica (no recuperables), la resistencia se mantiene constante aunque la deformación aumenta. En sales o en otras rocas, sometidas a alta temperatura, y/o circular de fluidos (Lillo & Oyarzun, 2013).



2.4.2. FALLAS, ZONAS DE FALLA, ZONAS DE CIZALLA Y MINERALIZACIONES

Se conceptualizará los términos:

- *Fallas:* se trata de una fractura frágil en una roca, a lo largo de la cual se ha producido un desplazamiento visible paralelo a la superficie de la fractura. Si no existe tal desplazamiento a lo largo del plano de rotura, entonces hablamos de una diaclasa.
- *Zona de falla:* se trata de una estructura frágil compuesta por innumerables planos de falla, sub-paralelos o marcadamente oblicuos entre sí, interconectados y estrechamente espaciados. En algunos sectores la zona de falla puede contener zonas de brecha o harina de falla (fault gouge) que obviamente no permite observar los planos interconectados antes mencionados. El color de la roca afectada cambia sensiblemente y se pueden formar bandas (paralelas al fallamiento) de colores variados (rojos, violetas, amarillos, verdes, etc.)
- *Zona de cizalla:* se trata normalmente de una ancha banda de deformación generada bajo condiciones dúctiles, lo que para rocas cuarzo-feldespáticas significa temperaturas mínimas de 300-400° C. las condiciones de ductibilidad, para un gradiente geotérmico normal, empieza a unos 10-15 km de profundidad. A estas profundidades se encuentra la transición dúctil-frágil, a partir de la cual, las rocas en vez de fluir se romperán. Es el paso de una zona de cizalla a una zona de falla. Las rocas más típicas formadas por la deformación dúctil son las milonitas (Lillo & Oyarzun, 2013).

Cuando hablamos de masa mineral necesitamos tratar el tema de espacios disponibles, que mientras más grande este, mayor podrá ser el cuerpo mineral. Las fallas se curvan en el espacio; puesto que el esfuerzo que las genera tiene una dirección

específica, desarrollaran entonces sectores que acumulen o liberen energía en el entorno de la falla. Allí donde se libere energía se generarán espacios y por lo tanto, existirá una mayor probabilidad de encontrar mineralizaciones importantes (Lillo & Oyarzun, 2013).

Se generan diversos espacios, por las fuerzas deformantes a la roca preexistente, los cuales generan estos espacios para su deposición de los fluidos mineralizados como se puede observar en la figura N° 02.

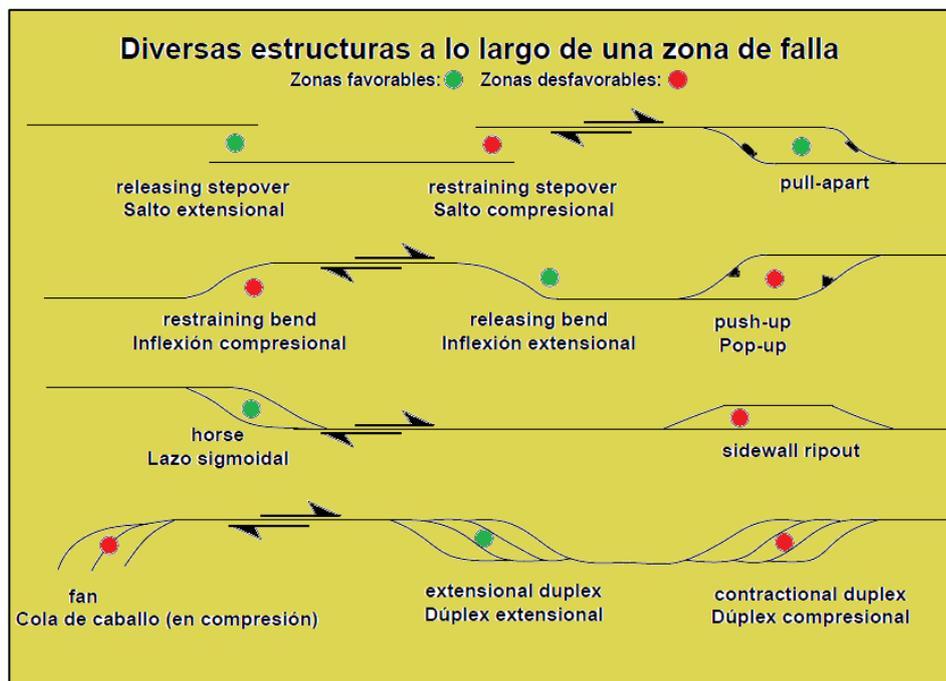


Figura 2. Resumen de las estructuras en una zona de falla tomado de Lillo & Oyarzun, (2013).

Los fluidos que circulan por las fallas, de donde y porque precipitan la carga mineral, fue investigado por Richard H. Sibson, en donde las estructuras a rellenar son típicamente extensionales y presenta morfologías variadas tales como en escalera, lazo sigmoide , y cola de caballo. En la nomenclatura de Sibson estas estructuras se denominan jobs y corresponde básicamente a las inflexiones, saltos, abanicos imbricas, y por supuesto, dúplex extensiones.



2.4.3. PLEGAMIENTO Y MINERALIZACIÓN

Los plegamientos son deformaciones de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión, a las propiedades plásticas de estas y a las condiciones de elevada presión reinante, tomando formas onduladas (Dávila, 2011).

Hay varios elementos geométricos diferibles en un pliegue: sus limbos o flancos, que representa la superficie curvada; el plano axial, que separa el pliegue en dos mitades; la charnela, que surge de la intersección de ese plano axial con la superficie curvado; y por último el eje, que es paralelo a la charnela y está contenido dentro del plano axial.

Los mecanismos de plegamiento de una secuencia estratificada en el mundo frágil y su transición a la ductilidad:

- Deslizamiento flexural (flexural slip), donde las capas se deslizan entre ellas a lo largo de los planos de estratificación. Solo en la charnela no hay deslizamiento. En este plegamiento el espesor de las capas se mantiene constante en todo el pliegue.
- Flujo flexural (flexural flow), que se desarrolla por flujo de material dentro de las capas. En este caso la zona de la charnela puede ser engrosada por movimiento de materiales desde los flancos (limbos) (Lillo & Oyarzun, (2013) cita a Donath y Parker, 1(964))

El movimiento de fluidos en un pliegue así como la posterior deposición de sus carga mineral depende en gran medida de los siguientes parámetros. En primer lugar tenemos la permeabilidad de las capas. Por ejemplo, se no están sellados los poros, una arenisca o una toba de lapilli poseerán una gran porosidad efectiva que permitirá en gran medida el libre tránsito de fluidos a lo largo del estrato. Por el contrario, las lutitas o

calizas representa condiciones de baja permeabilidad y por tanto ofrecen escasas posibilidades de movimiento a un fluido (Lillo & Oyarzun, 2013).

Por otra parte, tenemos el gradiente de presión, ya que los fluidos se moverán preferentemente hacia aquellos sitios donde esta sea más baja, en condiciones normales: hacia arriba, entonces los fluidos mineralizados se depositaran en las partes que crea las condiciones necesarios favorables como se puede observar en la figura N° 03.

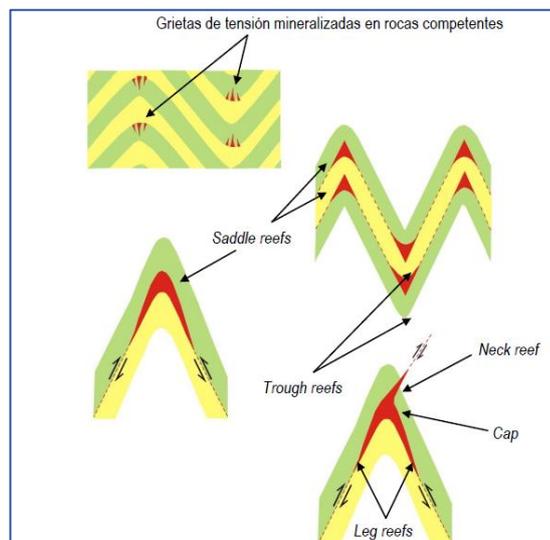


Figura 3. Sectores de formación de cuerpos mineralizados tomado de Lillo & Oyarzun, (2013) el cual adapto de Sibson (2005).

MARCO CONCEPTUAL

Prospección

Dávila, (2011) define la prospección como la investigación de una determinada región o zona, a través de los trabajos geológicos, mineros, geoquímicos, geofísicos, con el objetivo de determinar la existencia de concentraciones de minerales de interés comercial. La prospección puede llamarse prospección geológica, prospección geofísica, prospección geoquímica, de acuerdo a la orientación del estudio

Geología

Rojas y Parédes, (2013) la geología es la ciencia de la tierra que estudia el origen, composición, estructura y los fenómenos que se han producido en ella desde su génesis



hasta la actualidad, en otras palabras toda sus existencia de la tierra, mientras tanto Dávila, (2011) define la geología como la ciencia que estudia la tierra en todo sus aspectos y alcances, su origen, constitución, evolución, los procesos que se realizan en ella tanto interna como externamente.

Oyarzún, (2009) define a la Geología es la ciencia del planeta Tierra. En particular se ocupa de los materiales que lo integran (rocas, sedimentos, etc.), de su estructura (estratos, pliegues, fallas, etc.), de los procesos que los forman y modifican (magmatismo, litificación, metamorfismo) y de su historia (geología histórica)

Control

Se denomina así al efecto regulador de un agente o parámetro sobre la evolución de un sistema o proceso (Oyarzún & Oyarzún, 2014).

Mineralización

Proceso mediante el cual los minerales son introducidos en la roca, dando como resultado la formación de yacimientos minerales de rendimiento económico según Dávila, (2011) por otro lado el termino denota el proceso de formación de minerales y generalmente se utiliza para minerales de interés económico (Oyarzún & Oyarzún, 2014).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ASPECTOS GENERALES DE LOCALIZACIÓN

3.1.1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada en la cordillera Oriental de los Andes del Perú Central, ubicado en el paralelo $12^{\circ} 21' 18.32''S$ y meridiano $74^{\circ} 30' 3.02''S$, como se puede observar en la figura 13 y cuya superficie total de la concesión comprende 4 km^2 aproximadamente, de cuatro cuadrículas.

De acuerdo a la división política del país, el área de estudio se ubica entre las comunidades campesinas de Sachabamba y Tancar del distrito de Pucacolpa, provincia de Huanta, del departamento de Ayacucho.

3.1.1.2. Accesibilidad

Las principales vías de acceso a la zona de estudio se pueden realizar desde dos puntos, la primera desde la ciudad de Huancayo – Pampas – Colcabamba – campo Armiño – Puente Mellizo – C.C. Jaucan – C.C. Tancar – concesión minera de Sachabamba Tancar (Tabla N° 04); la segunda se puede acceder desde la ciudad de Ayacucho -Huanta - Ayahuanca - Huallhua- C.C. Jaucan – C.C. Tancar - la Concesión de la minera Sachabamba tancar SAC; presenta una topografía muy agreste (figura 4), el acceso a la zona de estudio.

Tabla 4. Acceso a zona de estudio

Tramo	Distan. (Km)	Tiempo (min)	Tipo de vía
Huancayo - Pampas	71	60	Asfaltado
Pampas - Colcabamba	45	45	afirmado
Colcabamba – campo Armiño	24	32	afirmado
Campo Armiño - Concesión	42	150	Trocha Carr.

Nota. Distancias, tiempo y estado de la vía



Figura 4. *Cuenca de río Mantaro. Toma de la imagen desde el campamento de la empresa minera hacia el río Mantaro, donde se muestra la topografía.*

3.1.1.3. Aspectos climáticos

El clima de esta zona, donde se ubica la concesión Sapanorcco, es típico de los Andes Peruanos, con un clima seco, precipitaciones en los meses de diciembre a marzo, como también varía la temperatura de acuerdo a los meses, existe bastante vegetación de tallo mediano, teniendo arboles típicos de la zona; la topografía que presenta esta zona es muy agreste (Fig. 6), típico de la Cordillera Oriental, que crea este clima muy variado, en las cercanías del río Mantaro, el clima es típico de la selva tropical, donde crece árboles frutales, cuando va ascendiendo a las partes altas el clima va cambiando, el cual se puede observar por los cultivos que se tiene en cada piso ecológico y metros sobre el nivel del mar, al nivel de los poblados de Sachabamba, Tancar, Jaucan y la capital del distrito de

Pucacolpa como es Huallhua, tiene un clima seco, pero si seguimos ascendiendo el clima ya es más frígido, en las cimas hay presencia de nieve.

Esta relación de cambio se puede observación en la vegetación nativa y de cultivo, en relación a la flora oriunda se ubican de acuerdo a la altitud, en donde las plantas de tallo mediano se ubican hasta la mitad de los cerros, como de la figura 6, cuando vas ascendiendo disminuí, solo quedando plantas de tallo corto como el ichu.

Temperatura

La temperatura varía de acuerdo a las épocas de precipitación, en las épocas de estiaje baja las temperaturas, típico de los andes peruanos, tenemos como referencia a una estación meteorológica de Paucarbamba que no presenta mucha variación, en los meses de julio y agosto, baja la temperatura, alcanzando las temperaturas mínimas cerca a los 0 grados, se tomó los datos de la estación meteorológico de Paucarbamba, que está a una altitud de 3000 msnm de la cuenca de Mantaro (figura 5), para tener como referencia, para la zona de estudio de la veta Sapanorcco que está a una altura de 3800 msnm.

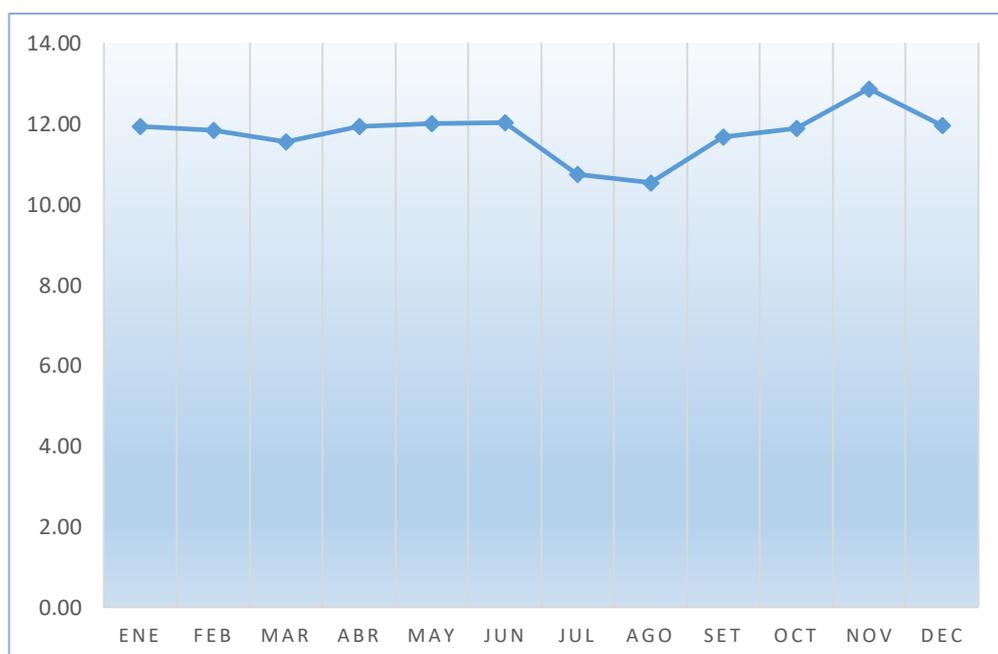


Figura 5. *Temperatura promedio, estación de Paucarbamba – SENAMHI*



Figura 6. La vegetación de la zona de estudio, A. en la bocamina, B. como en el campamento.

Precipitación

La precipitación es típico de los andes peruanos, esta inicia desde los meses de diciembre hasta marzo, en los meses de abril hasta noviembre las precipitaciones son bajas el cual se puede observar en la figura 7, estación Paucarbamba que opera SENAMHI, las precipitaciones muchas veces son acompañadas con neblina (figura 8)



Figura 7. Precipitación mensual, estación de Paucarbamba – SENAMHI



Figura 8. *Presencia de neblina en la zona de estudio.*

3.2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Está comprendido entre los cuadrángulos de Pampas (25n) y Canaire (25ñ), la zona de estudio y la principal fuente de información que se tiene con respecto a la geología regional es de Instituto Geología Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

3.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

3.2.1.1. Estratigrafía

En la publicación de INGEMMET en 1966 indica que se encuentran rocas de edades que van del Paleozoico inferior y posiblemente desde el Precambriano hasta Cuaternario moderna, en la base de la columna se presenta esquistos cloritosos, micáceos, talcosos, anfibólicos y localmente gneis, que pasan hacia arriba, aparentemente en forma gradacional, a una secuencia de lutitas negras y gris oscuras con intercalaciones de areniscas grises, a esta descripción de rocas lo denomina grupo Excelsior.

Mientras tanto en 1998, INGEMMET da a conocer que afloran rocas sedimentarias y metamórficas con rasgos cronoestratigráfico que abarca desde el Neo-

proterozoico hasta el cuaternario (Holoceno), las rocas más antiguas corresponde a un gneis de facies anfibolíticas, presenta metamorfismos regional moderado se le describe como gneis del complejo Mantaro edad Neoproterozoico, en la secuencia se encuentra cubierto en discordancia erosional por areniscas cuarcitas del Ordovícico y por pizarras, lutitas pizarrosas del grupo Cabanillas del Devónico, sobre esta secuencia se emplaza las areniscas con micas del grupo Ambo; calizas del grupo Tarma – Copacabana (facies formación Ene) del Carbonífero – Pérmico inferior.

Finalmente la columna con los depósitos aluviales Pleistocénicos, producto del levantamiento de la cordillera Oriental y sedimentos aluviales-fluviales del Cuaternario (Fig 10).

a. *Neoproterozoico*

como ya mencionado se le incorporó al grupo Excelsior, separando serie metamórfico y serie de lutitas y areniscas (INGEMMET, 1966), del cual la primera sea la que se incorpore a esta era, mientras INGEMMET, en 1998 hace mención sobre la misión ORSTON, en el Perú y Bolivia en colaboración con el Servicio de Geología y Minería del Perú, realizó el estudio de la cadena Hercinica en el Perú Y Bolivia, en donde describe a un sub-estrato precámbrico que aparece sucesivamente de SO-NE en el domo de Yauli el anticlinal de Mal Paso (La Oroya) en el amplio anticlinorio de la cordillera Oriental.

INGEMMET, en 2003 es su actualización de geología del cuadrángulo de Pampas acota que su afloramiento se encuentra de manera continua con dirección NO-SE a lo largo de la cordillera oriental donde toma diversos nombres como complejo de Marañón, complejo de Maraynion, secuencia metamórficos Mairazo-Huatapallana, en esta actualización lo denomina el complejo metamórfico de la cordillera oriental, como se puede ver en la figura 9.



Figura 9. *El complejo metamórfico de la cordillera oriental de la fase Esquistos, esquistos-micáceos y filitas (PE- fi/es em/ecl).*

Complejo Metamórfico de la Cordillera Oriental

Esta roca se distribuye ampliamente a lo largo de la hoja de Pampas a manera de franjas alargadas con rumbo andino, controlado y limitado por fallas inversa (INGEMMET, 2003), como también se extiende hacia la hoja de Canaire, estas franjas están presentes en el norte de la concesión según los planos estratigráficos de INGGEMMET, y no se tiene mucha información, por la topografía agreste y la vegetación de tallos mediano y corto que se tiene en la zona, es por ello se toma como referencia para futuros estudios para determinar la limitación litológica.

Fue sub dividido o diferenciado por las características litológicas y tipo de facies en tres secuencias, del cual la segunda se muestra en la figura 9:

- ✓ Gneis, anfibolita y esquistos (PE- gn/an/es)
- ✓ Esquistos, esquistos-micáceos y filitas (PE- fi/es em/ecl)
- ✓ Esquistos, metasedimentarios y mármol (PE- em/es/cu/ma)

b. Paleozoico

Grupo Ambo (CI-a)



Esta unidad se reconoció en el cartografiado de actualización en base a su similitud litológica y posición estratigráfica que realizó INGEMMET (2003), existe una exposición de afloramientos en el río Mantaro, en el puente mellizo como se muestra en la figura 11.

Litológicamente está conformado por una secuencia de areniscas masivas en su tramo más inferior pasando a areniscas en capas medias y gruesas de hasta 5 metros de grosor, intercaladas con niveles delgados de limoarcillitas grises oscuras, las areniscas son subarcólicas, grano medio a fino, donde se tiene micas y feldespatos, presentan un color gris oscuro.

Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Pampas

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litestratigráfica	Grueso Aproximado (m)	Litología	Descripción	
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. de travertinos	30		Carbonatos precipitados en capas gruesas.	
			Dep. coluvio aluviales	10		Gravas polimícticas en matriz arenosa y capas de arena gruesa arena limosa.	
			Dep. aluviales	10		Gravas polimícticas subredondeadas en matriz arena limosa.	
		Pleistoceno	Dep. lacustres	60		Limo-arcillas arenosas intercaladas con arenas y algunos microconglomerados.	
Dep. aluviales				Limoarcillas y limoarcillas en capas gruesas a medias con algunos niveles de arenas y conglomerados poco digeridos.			
MESOZOICA	CRETÁCEO	Inferior	Fm. Chilo	200		Calizas micríticas beige en capas medias con algunas intercalaciones de limoarcillas en capas delgadas y medias de colores gris marmosa y beige.	
			Gpo. Collataquiña	150		Areniscas cuarzosas blanco amarillentas en capas medias y gruesas con intercalaciones de capas delgadas de limoarcillas rojas.	
	JURÁSICO	Inferior	Grupo Pucará	Fm. Condorsinga	1200		Calizas micríticas oscuras algunos niveles de tonalidad azulada en capas medias.
				Fm. Aramachay	80		Calizas micríticas oscuras azuladas en capas delgadas tabulares con intercalaciones de limoarcillas rojas y duras, niveles lúscidos.
				Fm. Chambacé	200		Calizas micríticas oscuras con nódulos de chert en capas gruesas.
	TRIÁSICO	Superior	Grupo Pucará				
	PALEOZOICA	PÉRVICO	Superior	Gpo. Mita	>2000		Areniscas espáticas rojas en capas medias, limoarcillas rojas y niveles lavicos intercalado con brechas volcánicas.
				Disc.			
		Inferior	Gpo. Copacabana	≈ 2000		Calizas espáticas en capas medias de color blanco amarillento intercalada con niveles de areniscas, limoarcillas rojas y capas de yeso en la parte superior.	
Disc.							
CARBÓNIFERO		Superior	Gpo. Tarma	1000		Limoarcillas gris oscuras masivas intercaladas con areniscas oscuras de grano medio en capas gruesas y areniscas calcíneas.	
			Inferior	Gpo. Arebo	>1000		Areniscas oscuras de grano medio a grueso en capas gruesas intercalado con niveles de limoarcillas grises.
DEVONIANO	Inferior	Gpo. Cabanillas	2000		Limoarcillas oscuras carbonosas con estructura laticas en capas delgadas, en la parte inferior limoarcillas oscuras intercaladas con capas delgadas de areniscas de grano grueso, gris oscura.		
		Disc.					
PROTEROZOICO	NEO-PROTEROZOICO	Corteza Volcánica De La Cordillera Oriental	Filitas, Metasedimentarios	>2000		Metasedimentarios, esquistos micáceos, esquistos sericiticos cloríticos, cuarzos granoblásticos blancos y mármol.	
			Esquistos, filitas				Filitas, esquistos- filita de sericita clara cuarzo, esquistos sericiticos foliados, esquistos micáceos foliados y esquistos cloríticos.
			Gneis, anfibolitas, Esquistos			Gneis anfibolíticos granoblásticos anfibolitas, esquistos micáceos cloríticos, esquistos de biotita, muscovita con qtz de cuarzo bastante foliados, esquistos de epidoto y actinolita.	

Figura 10. Columna estratigráfica del cuadrángulo de Pampas (INGEMMET, 2003).

En la parte superior de esta unidad se incrementa los niveles de limoarcillita carbonosas en capas medias y masivas. Se ha notado en ciertos tramos de la secuencia una alternancia de capas de areniscas con cemento calcáreo.

Su relación estratigráfica con la unidad inferior no se conoce por que no aflora y su contacto superior es con el Grupo Tarma (figura 11), con relación a unidad inferior se devisa algunas rocas metamórficas, posiblemente sean precámbricos en el río Mantaro.

Grupo Tarma (Cs-t)

De la misma manera que el grupo Ambo, se ha reconocido en el estudio de actualización, esta unidad en base a su posición estratigráfica y a sus atributos litológicos que ejecuto INGEMMET (2003), Aflora de manera restringida en pequeña franjas alargadas, truncándose sus afloramientos contra el granito de Villa Azul y en la margen izquierda aguas arriba del río Mantaro contra la falla Andaymarca.



Figura 11. *Afloramientos del grupo Ambo.*

A diferencia de los afloramientos de la hoja de Huanta, donde se presenta una secuencia monótona de limoarcillitas bastante fisibles con disyunción en lápiz y un nivel intermedio de calizas tabulares y capas delgadas. En el área de estudio el Grupo Tarma



está conformado principalmente por una secuencia no muy gruesa de limoarcillitas bien estratificadas, oscuras, en capas medias a gruesas, masivas y algunos niveles de limolitas color gris oscuro en capas tabulares, hacia la parte superior se intercalan con capas delgadas de areniscas laminares, gris claras, grano fino a medio y cierto contenido de cemento calcáreo.

Su relación estratigráfica en la zona con respecto a las unidades superior e inferior es concordante. El grosor de esta unidad se acerca a los 400 metros en el área de estudio.

Grupo Copacabana (Pi-co)

Sus afloramientos se exponen a manera de franjas largadas, presenta una morfología suave de laderas empinadas y como remanentes bastantes deformados y recrystalizados sobre el granito de Villa Azul.

Se tiene una buena exposición a lo largo de la carretera cerca al poblado de Chilifruta y en Acobamba donde se le estima más de 200 m de grosor de una secuencia monótona de calizas micríticas de tonalidad beig clara a crema, en capas medias a gruesas con algunas intercalaciones de areniscas calcáreas. En este lugar, el Grupo Copacabana se encuentra debajo de las areniscas del Grupo Mitu en discordancia y suprayace en igual relación a las rocas metamórficas. Esta franja sigue con dirección NO–SE pasando por Cedropampa, Salcabamba y la hacienda

Machachiuro (río Mantaro) donde se incrementa el grosor de la unidad. La parte superior de la secuencia se intercala con limoarcillitas y lodolitas rojizas en capas gruesas, niveles de areniscas calcáreas y un nivel prominente de yeso de 20 metros de grosor como se observa en el corte de carretera cerca al poblado de Salcabamba (INGEMMET, 2003).

c. Depósitos cuaternarios

Depósitos aluviales (Qh-al)



Corresponden a los mayores depósitos del Cuaternario, que se distribuyen en toda la zona de estudio. Los más representativos son los depósitos de los sectores de Colcabamba, Pampas, Tocas, Campo Armiño, Pichius y los depósitos del borde del río Mantaro. Están constituidos por gravas y bloques, subangulosos a subredondeados, dispuestos de manera masiva, envueltos en una matriz limo-arenosa, formando terrazas aluviales a lo largo de los principales valles y pueden llegar a 100 m de grosor (INGEMMET, 2003).

Depósitos coluvio-aluviales (Qh-co-al)

Son depósitos de talud y laderas, se presentan a lo largo del río Mantaro y en las quebradas de la zona de estudio (INGEMMET, 2003).

3.2.1.2. Rocas intrusivas

Las rocas plutónicas de esta zona forman parte del lineamiento magmática que se tiene a lo largo de la cordillera oriental, algunos cuerpos intrusivos con edades que corresponden al permo-triasico. En el área de estudio se tiene cuerpos ígneos graníticos, de dirección NO-SE, de dimensión batolítica, cuerpos aislados de stocks y subvolcánicos de naturaleza dacítica según INGEMMET, (2003).

Batolito de Villa Azul (PTr-gr/gd-va)

Cuerpo ígneo que atraviesa el cuadrángulo de Pampas con dirección NO-SE, prolongándose a los cuadrángulos vecinos por más 600 km y con un ancho promedio de 15 km (INGEMMET, 2003), el batolito de Villa Azul esta principalmente formado por granito, aunque en ciertas áreas restringidas grada a granodiorita (INGEMMET, 1966).

Diorita Suelloc (PTr-di-su)

En los alrededores del poblado de Suelloc y la laguna de Huarmicocha aflora un cuerpo de naturaleza diorítica, de forma semicircular, formando unos conspicuos terrenos



de laderas de fuerte pendiente. Se encuentra cortando a las unidades del Paleozoico y en contacto fallado con rocas metamórficas.

La diorita es de tonalidad mesócrata, con cristales de grano medio, fanerítica, equigranular, bien desarrollados y de forma anhedrales, donde se distinguen feldespatos y menores porciones de hornblenda y biotita (INGEMMET, 2003).

Stocks de Huarcatán (PTr-di-hu)

En la zona de Huarcatán, se presenta en la esquina SO de la hoja de Canaire aflora una serie de stocks de composición diorítico a manera de elipsoide de 7km por 4km de ancho.

Rocas intrusivas

Los Plutones están representados por numerosos diques de dacita andesita, y diorita, etc., de dimensiones variables, que aflora en los diversos lugares, estas rocas son de textura afanítica a porfirítica, de color gris, gris verdosa a verde (INGEMMET, 1966).

3.2.1.3. Geología estructural

La zona de estudio está relacionada directamente a dos eventos orogénicos principales; la orogenia Herciniana, la cual afectó a las secuencias sedimentarias durante el Paleozoico inferior, originando pliegues y un intenso metamorfismo; así mismo, provocaron levantamientos y plegamientos. La segunda orogenia trajo como consecuencia plegamientos y fallamientos de las rocas del Permiano superior y sedimentos del Mesozoico, seguido del emplazamientos de plutones, finalmente en el Neógeno, el movimientos epirogénico de los andes determinó los fallamientos y dislocaciones en bloque, controlando así la morfología y el drenaje de la región (INGEMMET, 2003).



Pliegues

Pliegue mayor es el anticlinorio de Pichius, tiene una dirección NO-SE, afecta a rocas del Paleozoico, en el núcleo presenta rocas del Grupo Ambo, la misma que presenta una serie de anticlinales y sinclinales, asociadas a fallas paralelas de dirección NO-SE (INGEMMET, 2003).

En el sinclinorio de Razuhilca, de dirección NO-SE, en el seno de la estructura se encuentra emplazada las calizas del grupo Tarma-Copacabana y en los flancos el grupo Ambo y las unidades Paleozoico inferior. Debido a estas estructuras la distribución de los grupos Tarma Copacabana, se limita a las cumbres y en los flancos de las estructuras el grupo Cabanillas por lo que aflora en ambas márgenes del valle de Mantaro (INGEMMET, 1998).

Fallas

La falla de Villa Azul, de componente normal, se desplaza a lo largo del batolito Villa azul, con dirección NO-SE, otras estructuras importantes corresponden a la falla Huarmicocha, delimita el sector Central con el sector Oriental. Esta falla tiene una dirección NO-SE, se trata de una falla inversa (retrocavalgada), donde rocas Neoproterozoicas se sobreponen a las secuencias paleozoicas (Gpos. Tarma y Copacabana) (INGEMMET, 2003).

3.2.2. GEOLOGÍA LOCAL

La geología local de la veta Sapanorcco comprende las siguientes unidades:

Estratigrafía

En el área de estudio afloran rocas metamórficas, en gran parte rocas sedimentarias, y algunas intrusiones de rocas ígneas. La roca metamórfica es de tipo regional.

a) Neoprotozoico

En los trabajos realizados por INGEMMET, define la existencia de la litología de esta era, en esta zona del estudio, el cual es el **Complejo Metamórfico de la Cordillera Oriental**, el cual tuvo muchas denominaciones y que además es correlacionado con el complejo de Marañón, de las tres divisiones que presentan, la que se tendría es esquistos, esquistos-micáceos y filitas (PE-fi/es em/ecl), en esta zona de estudio (figura 12).



Figura 12. Paquetes de roca metamórfica, que posiblemente sea del grupo Tarma o simplemente sea del complejo metamórfico de la cordillera oriental, está al nivel de la bocamina.

b) Paleozoico

Dentro de este periodo se tiene la litología del grupo Tarma, el cual sufrió metamorfismo, como se pudo observar, fue afectado por el metamorfismo regional, y además se tiene paquetes de cuarcita, como también lutitas que no fueron afectados,

Rocas intrusivas

Se tiene intrusiones de pequeñas proporciones que se observa en la zona de estudio con una coloración gris verdosa, los cuales pueden ser parte de los stocks o batolito que se tiene en los alrededores.



Geología estructural

En la zona de estudio presenta una fuerte deformación de la roca metamórfica, en forma de láminas que se depende de la roca matriz, característica de la roca pizarra, y que además presenta fallas en donde se mineraliza la veta Sapanorcco, como también se encuentran fallas post mineralizados.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación científica es una investigación sistemática, controlada, empírica, amoral, pública y crítica de fenómenos naturales (Kerlinger & Lee, n.d.), es la búsqueda intencionada de conocimientos o de soluciones a problemas de carácter científico (Behar, 2008), en lo cual la prospección geológica es una investigación sistemática de los fenómenos geológicos con la intención del conocimiento de las características de la veta Sapanorcco. La metodología de investigación que se utiliza es la analítica, algo es objeto de análisis cuando vemos sus partes por separado (Del Cid, Méndez, y Sandoval, 2007), en donde se analiza por partes para comprender las características de la veta Sapanorcco, ya que tiene fases para la investigación de un cuerpo mineralizado como este y también desde diferentes ópticas de la prospección que se tiene.

El tipo de investigación es aplicada por que se preocupa por el uso del conocimiento científico, producto de la investigación básica (Castro, 2016), el conocimiento geológico se aplica a la veta Sapanorcco, a través de la prospección geológica, investigando las características a través de la teoría para luego confrontar con lo práctico. La investigación aplicada, movida por el espíritu de la investigación fundamental, ha enfocado la atención sobre la solución de teorías, y la investigación de la veta Sapanorcco no escapan de este marco. Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica, activa, dinámica, el cual tiene una aplicación en campo, (Behar,

2008) como la prospección geológica, que aplica los conocimientos a los yacimientos minerales que se encuentran en zonas que hayan sido favorables para su deposición.

El nivel de investigación es descriptivo por que busca especificar las propiedades, características y los perfiles de procesos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, como es de la veta Sapanorcco. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas según Hernández, Fernández, y Baptista, (2014), entonces al caracterizar a la veta Sapanorcco, lo que se pretende recoger información de manera independiente con el objetivo de describir las características de un fenómeno geológico en una estructura mineralizada.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población o universo cuando se refiere a la totalidad (Del Cid Pérez et al., 2007), de los elementos a estudiar, en este caso la población es la concesión minera de los cuatro cuadrículas (Fig. 13) de la minera Sachabamba Tancar SAC, el cual compone de dos denuncias mineros (Fig. 13) denominado Sapanorcco de tres cuadrículas y Sapanorcco 2 de una cuadrícula, para la prospección o exploración de cuerpos mineralizados que pudiera existir en estas áreas concesionadas, para luego seleccionar las área favorables para encontrar un yacimientos mineral.

La muestra es la parte de la población que se selecciona, del cual realmente se obtiene información para el desarrollo del estudio y sobre el cual se efectuarán la medición y la observación de las variables objetos de estudio (Bernal, 2010) la muestra hace referencia al sub conjunto o parte del universo, el cual es un cuerpo mineralizado, denominado la veta Sapanorcco, que está ubicado en la cuadrícula de Sapanorcco 2 (Fig. 13), del cual se describirá las características de la veta Sapanorcco, esta muestra es no

probabilístico, porque es un estudio de caso, a causa que es una estructura mineralizada en donde se realizó diferentes trabajos de prospección geológica, como también algunos trabajos de explotación minera.

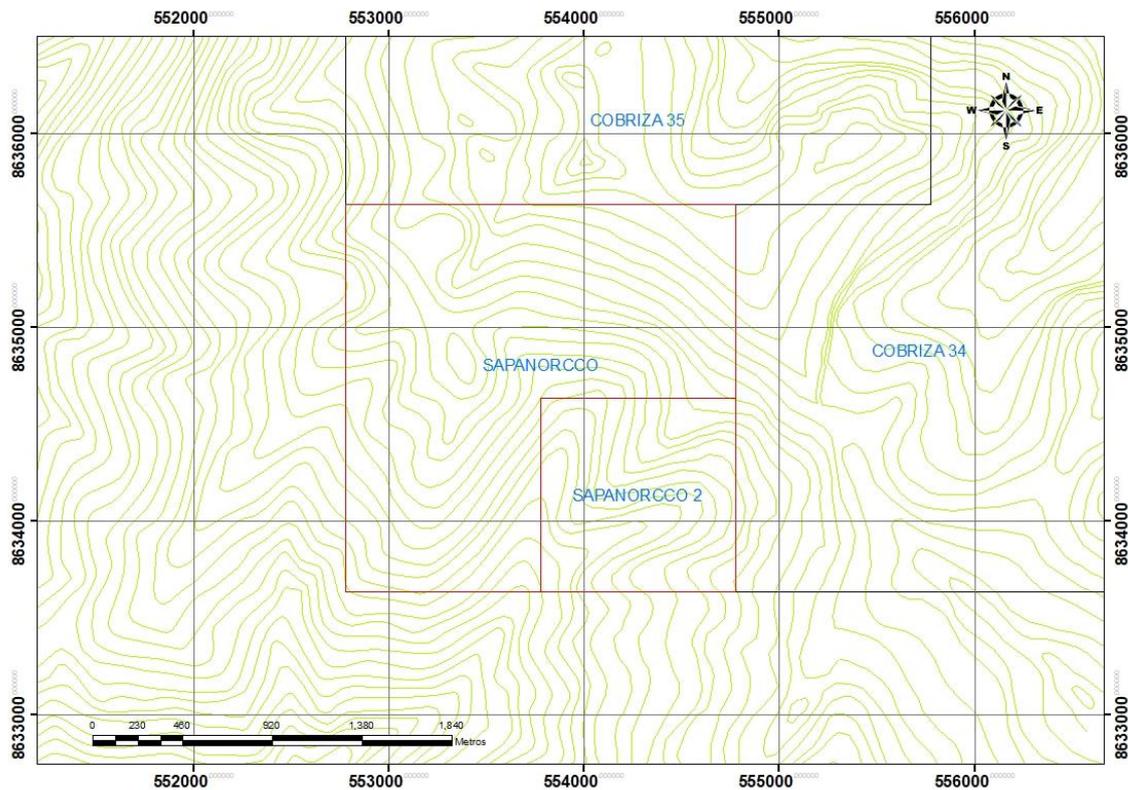


Figura 13. *Los 4 cuadrículas del denuncia minero, del cual solo se tomó la veta Sapanorcco del cuadrícula denomina Sapanorcco 2.*

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

La técnica de la recolección de datos comprende al conjunto de procedimientos y actividades coherentes con el hecho de estudiado y con los recursos disponibles (Del Cid Pérez et al., 2007) que le permite al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a la pregunta de investigación, las técnicas que se utilizaron para describir las características de la veta Sapanorcco son: la recopilación documentaria, observación en campo y microscopio óptico petrográfico.

En la recopilación documental se realizó un análisis documentaria sobre la geología de la zona, antes de iniciar la investigación en campo y que esta información se



necesita durante el procesos de investigación; la técnica que se utiliza en el estudio geológico son la observación en campo de los fenómenos geológicos que ocurrieron, en donde se describirá todas los acontecimientos geológicos que pasaron, así también se tomaron muestras de la veta Sapanorcco, para la observación en laboratorio, del cual se realizaron de las muestras obtenidos en campo, como también se realizaron los trabajos de gabinete.

Los instrumentos sirven para medir las variables (Hernández et al., 2014), cuyos resultados son utilizados para realizar la debida interpretación como de la geología de la veta Sapanorcco, entonces lo que le permite operativizar a la técnica es el instrumento de investigación para lograr los resultados esperados en la prospección geológica de las características de la veta Sapanorcco, para lo cual se utilizó el análisis documental, toma de datos en campo, Software y microscopio petrográfica, los cuales se empleó en cada etapa de la investigación que se desarrolló.

3.5.1. TRABAJO DE GABINETE

El análisis documentario se realizó en gabinete antes de la salida de campo y durante la investigación, en donde se contrastó la información recopilada de fuentes primarias y secundarias, para tener una mejor perspectiva en el estudio de las características de la veta Sapanorcco, como en la designación del tipo de yacimiento mineral, descripción de la composición mineralógico y la definición del control de mineralización, para cada uno de los objetivos se realiza el respectivo análisis documentaria.

3.5.2. TRABAJO DE CAMPO

La investigación que se realizó, sobre la descripción de las características de la veta Sapanorcco, de los procesos endógenos y exógenos que determinaron la ocurrencia



de una estructura mineralizada, que están relacionados con los procesos geológicos, el cual se formó en esta zona, del cual se recopiló la información en campo como muestras y la descripción sobre la ocurrencia geológica de la veta Sapanorcco que se observó.

La toma de datos y recopilación de información en campo se realizó previa a una observación de la zona de investigación de la veta Sapanorcco, en donde se contrasta la información de la geología regional descrita, de las formaciones y ocurrencias geológicas sobre los yacimientos de minerales, con estos detalles se realizó una descripción de la característica de la estructura mineralizada, como el control de mineralización, también se obtuvo muestras de mano de la veta y de la roca caja, para estudio en laboratorio para describir la composición mineralógica.

Se realizó un mapeo respetivo de la veta Sapanorcco, lo que expone tanto en superficie e interior mina, para describir el control de mineralización, para lo cual se ejecutó un cruceo de prospección, del cual se realizó el mapeo en situ, para su digitalización en un software.

Del afloramiento de la veta Sapanorcco, se realizó la respectiva descripción, en donde se observó los procesos geológicos que ocurrieron, como la mineralización de la veta, la deformación y comportamiento de la roca de caja, para ello se empleó una lupa de geólogo, libreta y de más materiales.

Se tomaron muestras de la Veta Sapanorcco (muestra de mano) para realizar un análisis macroscópico y microscópico, para lo cual se utilizó una picca o picota de geólogo, un recipiente de plástico para embalaje y traslado al laboratorio.

3.5.2.1. Instrumentos, equipos y materiales utilizados en campo

- GPS Garmin
- Brújula tipo Brunton



- Lupa
- Lápiz rayador de dureza
- Lápiz imantado
- tablero
- Picsa o martillo de geólogo
- Cámara fotográfica
- Ácido clorhídrico
- Protector
- Colores
- Lápices HB-2B
- Bolsas de muestreo
- Cinta métrica
- Base topográfica
- Equipos de protección personal

3.5.3. TRABAJO DE GABINETE Y LABORATORIO

Después de recabar la información en campo de la veta Sapanorcco, se continúa con los trabajos en gabinete y laboratorio, como es la elaboración de secciones delgadas y pulidas de las muestras obtenidas en campo, para lograr los objetivos propuestos.

En gabinete se realizó los trabajos de análisis documental, como también discernir la información recopilada en campo para analizar los procesos geológicos que ocurrieron para describir el tipo de yacimiento mineral, como también la digitalización en software de los mapeos realizados.

Para realizar la digitalización se utilizó un software de sistemas de información comercial ArcGis, en donde se utilizó este programa de computadora para dibujar las

características que aflora de la veta Sapanorcco, un mapeo geológico de la estructura mineralizada, para analizar y definir el control de mineralización.

3.5.3.1. Preparación de secciones delgadas y secciones pulidas

Para determinar la composición mineralógica se realizó una investigación de análisis microscópico, para ello se obtuvo dos muestras de mano de la veta Sapanorcco, el cual se llevó al mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, al laboratorio de petro-geoquímica en donde se preparó las muestras.

Se toma la muestra de mano, para ubicar y determinar la orientación del plano de corte de la roca, el cual se realizó en una cortadora de roca, de disco continuo diamantado, al momento de ejecutar los trabajos de corte se refrigera con agua continuamente, para obtener las láminas y formas cúbicas para las secciones delgadas y secciones pulidas respectivas.

Al obtener las muestras con la cortadora de roca, se continúa con los trabajos de la preparación de la resina, el cual se mezcla con endurecedor en una relación de 3:1 en un recipiente, para luego aplicar en la muestra de roca laminado y en el vidrio para que se adhiera, en cuando a secciones delgadas, mientras para secciones pulidas se introduce la muestra preparada en forma cúbica en un pequeño molde o recipiente para luego verter resina, y dejar un tiempo prudencial para que se seque (fig. 14).

En las secciones delgadas, antes de realizar el pegado de la roca laminado con resina en el vidrio, se desgasta una de las caras de la muestra laminado, para nivelar en el equipo denominado desgastadora o pulidora, en el cual se utiliza abrasivos y agua para desgastar y obtener una nivelación para adherir en el vidrio; para obtener las secciones delgadas se desgasta las muestras que fueron adheridos en el vidrio, en la desgastadora o pulidora con los respectivos abrasivos hasta obtener un espesor de 30 micras, para luego

observar en el microscopio óptico, la lámina delgada de la veta Sapanorcco y describirlo.

En la realización de secciones pulidas, al obtener un molde en forma de un cilindro circular (fig. 14), se cortó en dos, de la parte media, para luego pulir con los abrasivos, mallas de diferentes medidas ($9\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ y $1\mu\text{m}$) y agua, hasta obtener una cara de lustre, y estas muestras de secciones pulidas logradas, se observó en el microscopio óptico petrográfico, para describir la composición mineralógico de la veta Sapanorcco.



Figura 14. *Elaboración de secciones pulidas y secciones delgadas, antes de pasar los abrasivos.*

3.5.3.2. Estudio en microscopio petrográfico

Para el estudio de secciones delgadas y secciones pulidas obtenidas de la veta Sapanorcco, se utilizó el microscopio óptico petrográfico, de marca Leica, serial DM 750P (figura 15) del laboratorio de petrogeoquímica (mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano), es un equipo en donde se puede estudiar los minerales transparentes y minerales opacos, es un microscopio universal, que tiene incorpora una cámara fotográfica, del cual a través de un cable usb se puede conectar a una PC o Laptop, para tomar imágenes y visualizar para su descripción.



Figura 15. *Microscopio petrográfico, marca Leica, serial DM 750P.*



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VETA SAPANORCCO

La prospección geológica es la investigación, en sus aspectos y alcances como los materiales que lo componen, de su estructura, de los procesos que lo forman y modifican, y de su historia, con el objetivo de determinar la existencia de concentración de minerales de interés comercial, como la veta Sapanorcco, que es una estructura mineralizado, que se depositó en una falla de dirección andina, con mineral de valor económico de calcopirita, mineral de Cu.

El estudio de las características de la veta Sapanorcco tiene un alcance en donde se estudiaron la paragénesis y zonamiento, tipo de yacimiento, controles de mineralización, alteraciones hidrotermales, composición mineralógica, petrología para determinar las características de la estructura mineralizada, en la investigación se dará énfasis en tipo de yacimiento, composición mineralógica y controles de mineralización.

La metodología de la ejecución del estudio de las características de la veta Sapanorcco, que aflora en el área o cuadrícula denominado Sapanorcco 2, con el objetivo de realizar las descripciones del cuerpo mineralizado, se ejecutó a través de la observación directa e indirecta, como recojo de muestras de mano, mapeo geológico, estudio en microscopio petrográfico, recopilación documentaria y todo lo concerniente a la prospección geológica para realizar las caracterizar de la veta Sapanorcco.

En el desarrollo de la prospección geológica de la veta Sapanorcco, se realizó trabajos de exploración con el fin de obtener una información que pueda detallar, las características de la veta Sapanorcco, a través de la observación de la parte que aflora de la veta, como de la roca de caja y del área de estudio, como también se ejecutó



excavaciones subterránea con una longitud de 80 m, un crucero para cortar la trayectoria de la veta, el cual fue a una longitud de 43 m la continuidad de la veta, esta parte de los trabajos, es con la intención de reconocer un área que tenga la posibilidad de contener un yacimiento mineral, se le llama prospección o exploración (Monreal, 2013), con el fin de verifica el potencial de la veta, también se realizaron los trabajos subterráneos como galerías en el mismo cuerpo mineralizado con una longitud de 56 m. de donde también se detalla las características, y obtener la información concerniente a la veta Sapanorcco.

También se obtiene la información de los trabajos de explotación de la mina, ejecutados anteriormente en la veta Sapanorcco, que aflora con una longitud de 91 m, y un ancho promedio de 1 a 0.50 m, donde se observa el comportamiento de la deposición de los fluidos mineralizados (figura 16), los controles de mineralización que regularon en la veta, los minerales que componen, como la deformación de la roca, los cuales fueron afectado por las fuerzas compresiones como extensionales.

Se observó en el área en donde aflora la veta Sapanorcco, donde la roca esta deformado, por la actividad de las fuerzas compresionales, generando pliegues, los cuales se puede observar en el NO como también SO de la veta Sapanorcco, la geología local está compuesto con pizarras, lutitas y algunas intrusiones de rocas plutónicas de granito, son puntuales estas intrusiones, como también fallas que fueron generados por la orogenia andina, son los resultados de la tectónica de placas, por la placa continente sudamericano y la placa marina de Nazca.

4.1.1. TEXTURA

En el estudio de las características de la veta Sapanorcco, las texturas que se puede observar son de reemplazamiento y de relleno, el primero de los casos, se observa a través de los estudios de microscopio petrográfico, en el cual se puede observar el

reemplazamiento de pirita por calcopirita, este proceso se observa en su desplazamiento de calcopirita.



Figura 16. *Observación de la estructura mineralizada en los trabajos que se han realizado.*

En las texturas de relleno se observaron cómo se depositaron en los espacios abiertos por el desplazamiento del fluido mineralizante, el cual se observa que la parte media se encuentra los minerales de cuarzo y calcita, mientras la calcopirita, bornita y pirita se posesiona en la parte del contacto con la roca caja, esta textura se observa en toda veta, en otros puntos se observa que en la textura se encuentra minerales de calcopirita y pirita, pero siempre presenta esta textura de relleno.

4.1.2. PARAGÉNESIS

Secuencia paragenética

En los estudios realizados de la veta Sapanorcco, como la textura, del cual se obtuvo la secuencia paragenética, del cual podemos conocer como se desarrolló este proceso de mineralización, en la fase pre mineral es la serie de cuarzo y pirita, en donde el mineral de cuarzo se observa en los plegamientos de la roca, mientras la pirita se observa en las fracturas que no están mineralizados, en la fase mineral se observa dos eventos de calcita, de cuarzo, en donde la calcita se observa mineralizado en la veta, y en el segundo evento se tiene una recristalización junto con el cuarzo, el cual también se puede observar que tuvo dos eventos, el cual se observa en las muestras de lámina delgada, en esta fase se mineraliza la calcopirita y bornita, en la fases tardía se encuentra la cristalización de malaquita, como de calcita por la oxidación, mientras la arcillas son productos de la alteración de cuarzo de la fase pre mineral (Tabla 05).

Tabla 5. Secuencia paragenetica de la veta Sapanorcco.

	Fase pre mineral	Fase mineral	Fase tardía
Cuarzo	-----	-----	
Pirita	-----	-----	
Calcopirita		-----	
Bornita		-----	
Calcita		-----	-----
Malaquita			-----
Arcilla			-----

Nota: las fases de deposición de la mineralización.



4.1.3. ZONEAMIENTO

La distribución metálica de elementos en la veta Sapanorcco podemos decir que es la siguiente manera, en la parte intermedia de la veta se encuentra valores de elementos de Au, con trazas de Ag, mientras en las parte externa o periférica de la veta se encuentra valores de Cu, entonces la distribución seria de la siguiente manera Au-Ag, Cu, los cuales ha sido contrastado gracias a la prospección geoquímica, en donde nos da valores de porcentaje y en gramos de cada uno de las sustancias o elementos.

4.1.4. PETROLOGÍA

En la zona de estudio aflora en su gran mayoría roca metamórfica y en menor porcentaje protolitos, la veta Sapanorcco está encajonado por estas mismas rocas, el cual ha sido deformado como también sufrió esfuerzos, el cual configura la estructura mineralizado, por otro lado desde la petrogénesis, la formación de las rocas existentes, fueron por los procesos tectónicos que generaron rocas pizarras, desde una roca lutita, el cual se puede observar que hay presencia en la veta Sapanorcco de rocas metapelitas, el cual tiene un comportamiento frágil, muy característicos de las lutitas que es fisible. La roca ígnea existe en algunos puntos, de carácter plutónicos que se introduce, el cual se puede observar en la parte NO de la veta Sapanorcco.

La roca pizarra se expone en su mayor porcentaje en la zona de estudio, la roca metapilitas en menor porcentaje, estas rocas no presentan la permeabilidad, una propiedad física para que pudiera ser un control de mineralización de la veta Sapanorcco.

4.1.4.1. Roca metamórfica

En la zona de estudio de la veta Sapanorcco, aflora la roca metamórfica, como es la pizarra en mayor porcentaje, una de las características físicas que se puede observar es

la resistencia a la meteorización, por ello no presenta mucha erosión en esta zona, y presenta mucha vegetación, en donde se encuentran bosques de flora antoandina, que se desarrolla en el entorno de la estructura mineralizada.

Cuando se realizó el estudio para caracterizar a la veta Sapanorcco, en donde se observó restos de plegamiento en la roca pizarra, como los fallamientos producto de las fuerzas compresionales, esta exposición se puede ver en la mina y bocamina (fig. 17), se observó también, restos de la estratificación de roca sedimentaria.



Figura 17. *Afloramiento de la roca metamórfica en la bocamina.*

Se obtuvo una muestra de la roca de caja para realizar una lámina delgada de la veta Sapanorcco, el cual es una roca pizarra, la que tiene mayor presencia. En nicoles paralelos (fig. 18) se observa minerales de cuarzo en la matriz como también en una vetilla, que fue rellenado en las fracturas de la roca, presenta una textura lepidoblástica, hay direccionamiento de minerales.

Se observa minerales opacos en la matriz, como se puede observar en la figura 30 A y B, los cuales son los minerales que contenía en la roca sedimentaria, que posiblemente

sufrió cambio por el metamorfismo regional orogénica, que generaron plegamientos y esfuerzos en la roca.

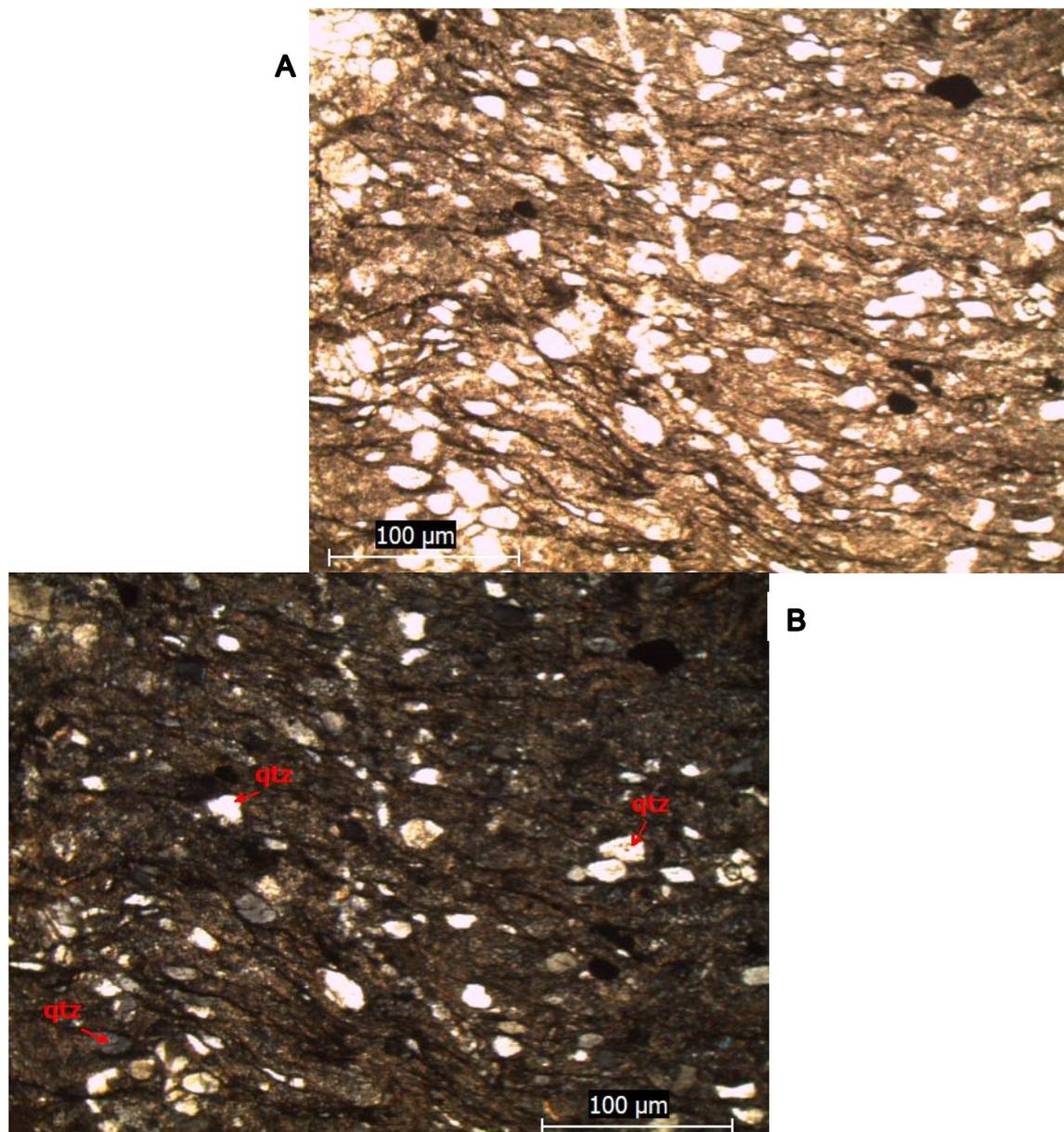


Figura 18. Pizarra *A.* Nicos paralelos, se diferencia la matriz con el cuarzo, *B.* se observa los granos de cuarzo..

4.1.5. ALTERACIONES HIDROTERMALES

En la veta Sapanorcco la alteración hidrotermal no ha sido posible, a causa que la roca pizarra no presenta las condiciones físicas y químicas, como las roca metapilita, no se observa la alteración de los fluidos mineralizados a la roca de caja; se tiene una alteración hidrotermal en la roca existente a causa de metamorfismo regional, en donde



la roca se silicifica, por la recristalización de cuarzo, el cual se puede observar en los estudio ópticos de láminas delgadas.

La pizarra que se tiene en la veta Sapanorcco no sufre un intercambio químico de los minerales, porque no es reactivo a los fluidos mineralizados que atravesaron las fallas, para su deposición, esto se pudo demostrar con los valores de prospección geoquímica, no se tiene valores en roca caja.

4.2 TIPO DE YACIMIENTO MINERAL DE LA VETA SAPANORCCO

De la zona de estudio, no se tiene información, con respecto a los yacimientos mineros, a causa que no se tiene explotaciones mineras o actividad minera, existe una mina de mediana escala que se explota, en la parte SE de la veta Sapanorcco, el cual es la mina Cobriza, una mina que explota Cu, de tipo skarn, es de la única mina que se tiene información, el cual está ubicada en la cordillera oriental y en la misma dirección andina y la más cercana a la veta Sapanorcco.

Para describir el tipo de yacimiento mineral de la veta Sapanorcco, se realiza la respectiva recopilación documentaria, en donde se tuvo que realizar un análisis de documentos relacionados con la clasificación de yacimientos minerales, como también una comparación con los yacimientos más cercanas y por su ubicación geomorfológica y geológica, para lo cual se pretende sistematizar a un tipo de yacimiento mineral.

4.2.1. ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN

En la sistematización de yacimientos minerales no se ponen de acuerdo los geólogos, lo cual ha llevado a una confusión al momento de clasificar los yacimientos, algunos clasifican por su forma, como regular e irregular, que es más conveniente para la explotación de un yacimiento mineral, otro es la clasificación genética, el caso típico de los textos que uno puede encontrar es la clasificación por tipo de yacimientos y que mucho

geólogos los utilizan, otras propuestas que se tiene es la clasificación por contenido químico, como también los modelos de yacimientos minerales.

Daremos énfasis en la clasificación genética propuestas, por Lindgren, Niggli, Schneiderhöhn y Smirnov, cada uno de ellos tiene su esquema de sistematizar de los yacimientos minerales, y que tiene sus bases, sus deficiencias, la aceptación por las escuelas o en los países, las modificaciones que se tuvieron con el pasar del tiempo, son algunos de los esquemas que más son utilizados y la comparación que se realizó cada una de estos esquemas (Tabla 06).

Tabla 6. Comparación de Clasificación genética

Autor	Basado en	Características generales del esquema	Deficiencia
Lindgren	Temperatura y presión	zonas de profundidad-temperatura	Ha tenido críticas como cualquier otra clasificación, por no contener algún yacimiento
Niggli	Génesis y mineralogía	agrupa, a las menas epigenéticas en volcánicas, y plutónicos.	Desafía la aplicación de campo, ya que un yacimiento mineral que se forme a partir de minerales transportados en medio gaseoso no puede distinguirse de los formados a partir de materiales transportados en medio líquido.
Schneiderhöhn	Mena y asociación	1) la naturaleza del fluido mineral; 2) las asociaciones minerales; 3) distinción entre deposición cercana a la superficie y deposición profunda y 4) el tipo de deposición, huésped o ganga	El éxito de este sistema para uso de campo, sin embargo, es inversamente proporcional al número de grupos principales necesitados para acomodar todos los yacimientos minerales; es decir, cada nueva categoría que se necesite debilita la clasificación
Smirnov	Tectónica - formacional	Por su origen bajo determinados contextos litológicos y estructurales	En la naturaleza, para la formación de los depósitos naturales no existe fronteras tajantes, por lo que se podrán tener algunos depósitos transicionales entre un grupo y otro

Nota: Es una comparación de las cuatro propuestas de clasificación genética, tomado de SGM, 2017; CRM, 2005^a; CRM, 2005^b; Smirnov, 1982.

La clasificación para que perdurara en el tiempo y aceptado, tiene que ser genética, lógica y apto para la mayoría de depósitos, para que pueda encasillar en su lugar apropiado (Bateman, 1982), y que tiene una buena aceptación por parte de los geólogos



de EE.UU. como también es criticado por que tiene deficiencias como toda clasificación, es la clasificación genética de Lindgren, que se tomara para clasificar.

Como podemos observar en la tabla 01, se tiene el esquema modificado del original de la clasificación de los yacimientos minerales de Lindgren, el cual se utilizó para clasificar el tipo de yacimiento de la veta Sapanorcco, entonces el cual estaría clasificado como, por aguas calientes ascendentes de origen incierto, probablemente magmático, metamórficas, oceánicas, connatas o meteóricas.

El cual estaría dentro de yacimientos epitermales, la veta Sapanorcco, porque se formó a pocas profundidades, tiene relación la mineralogía que contiene la estructura mineralizado, como la ocurrencia de carbonatos, por otro lado, se realizaron una comparación con yacimientos que están cerca a la veta, o relacionado en su geología, para poder clasificar la veta Sapanorcco.

4.2.2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON YACIMIENTOS.

Si realizo una comparación del yacimiento de la veta Sapanorcco, con los yacimientos existentes en el complejo territorio peruano, como la ubicación en la geología y la proximidad, para ello se toma como referencia a Tumialán, (2013) que agrupo en conjuntos, y que tiene relación los yacimientos relacionados a intrusivos intermedios a félsicos, en esta parte agrupo a una gran parte de los yacimientos que está relacionado a este tipo de yacimientos en el Perú y que tiene ver con la tectónica hercínico y andina, está relacionado en un contexto formacional de las rocas ígneas y que está relacionado con la tectónica como se mencionó.

Los yacimientos relacionados a intrusivos intermedios a félsicos, agrupa a un conjunto de depósitos de los cuales podemos relacionarlos con yacimientos tipo skarn, yacimientos de oro y plata en areniscas-cuarcitas-pizarras, yacimientos cordilleranos.



Yacimiento tipo skarn Cobriza, que está ubicado en el SE de la concesión de la Empresa Minera Sachabamba Tancar SAC, este yacimiento se ubica en la cordillera oriental, en donde es descrito por Tumialán, (2013) y el cual cita el resumen de Ulrich Peterson (1965), en el cual la geología está determinado por una estructura, que se emplaza en el flanco este de un anticlinal mayor cuyo eje pasa por los pueblos de Coris y Pampalca. Su estratigrafía consiste en pizarras, limonitas y calizas de la formación Copacabana, y al noreste aflora una área de granito, la estratigráfica descrita del yacimiento Cobriza, en la zona de investigación no se ha podido observar la caliza, por lo que defiere con el yacimiento de la veta Sapanorcco.

El yacimiento mineral tiene ocurrencia de la pirrotita en el manto Cobriza, en cuando a la profundización aparece magnetita. La chalcopirita se ubica en la parte del piso del manto, acompañado de arsenopirita, y que además aparece galena argentífera de menor temperatura, con respecto a la veta Sapanorcco se ubica minerales de calcopirita y pirita.

La temperatura de formación de Cobriza se estima en 400 °C-450 °C, basado sobre determinación de rayos X por Hornea sobre una muestra de pirrotita y dos muestras de arsenopirita.

Continuando la comparación con la veta Sapanorcco son los yacimientos de oro y plata en areniscas-cuarcitas-pizarras, que están ubicados estos yacimientos en la cordillera oriental, que afloraran localmente pizarras, la principal yacimiento en mencionar es Ana María (Puno), como también se compararon con los yacimiento cordillerano, en donde menciona a los yacimientos Poderosa, Retamas, Parcoy y Huachon, que esta ubicadas en la cordillera oriental, son yacimiento principalmente de Au, en el cual está relacionado al control mineralógico de la pirita fina.



La clasificación en la comparación de la veta Sapanorcco, podemos relacionar con los yacimientos de estructuras filonianas, de relleno de fracturas epigenéticas emplazadas en rocas metamórficas, los cuales están dentro de la cordillera Oriental.

4.3 COMPOSICIÓN MINERALÓGICO DE LA VETA SAPANORCCO

La descripción de los minerales que están agrupados en la veta Sapanorcco, se estudió que minerales componen este cuerpo mineralizado, a través de la observación de muestras de mano del mineral que se obtuvo, del cual se realizó una descripción macroscópica, determinando los minerales que conforman la veta Sapanorcco, como también se realizó la investigación con equipos de laboratorio, como son los trabajos de análisis microscópica para corroborar lo que observa en las muestras de mano.

La metodología que se utilizó es la observación en campo de las muestras de la veta Sapanorcco, como el muestreo de muestras representativas para realizar los trabajos en laboratorio, para elaborar las láminas delgadas y pulidas, y observar en un microscopio óptico petrográfico, con el objetivo de determinar los minerales que compone la veta Sapanorcco.

4.3.1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

En las muestras se observaron minerales de sulfuros, como también minerales secundarios de la veta Sapanorcco, el cual se realizó con el respectivo estudio macroscópico, a través de la observación visual, utilizando una lupa, rayador de dureza, y otros herramientas y materiales necesarios para determinar las propiedades físicas y químicas (Tabla 07) de los minerales de mena, como también minerales de ganga de la veta Sapanorcco, se observó la distribución de los minerales en la estructura mineralizada, el cual es encajonado con la roca pizarra.

Tabla 7. Minerales que componen la estructura mineralizada

MINERAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA	PESO ESPECIF.	DUR.	COLOR	RAYA	LUSTRE	SISTEMA CRISTAL.	HABITO	OBSERVACIÓN
Calcopirita	CuFeS ₂	4.1-4.3	3-5	Amarillo bronce	Negra grisácea	Metálico	Tetragonal	Masivo	es el mineral de Cobre
Bornita	Cu ₂ FeS ₄	5.06-5.08	3	Bronce pardusco, con reflejos purpuras y azules	Negra grisácea	Metálico	Cubico	Normalmente masivo	es un sulfuro de cobre hipógeno
Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH)	3.9-4.0	3-3.5	Verde brillante	Verde pálida	Mate	Monoclínico	Botrioidal	Mineral secundario común asociado con depósitos de cobre
Cuarzo	SiO ₂	2.65	7	Incoloro, blanco, coloreado por impurezas	Blanca	Vitreo	Trigonal	Hexagonal columnar, masivo	Mineral común de formadores de rocas y vetas
Calcita	CaCO ₃	2.77	3	Blanco	Blanca	Vitreo	Trigonal	hexagonal, columnar, romboédricas	Mineral ampliamente distribuida
Pirita	FeS ₂	5.02	6-6.5	Amarillo metalico palido	negra verdosa o pardusca	Metálico	Cubico	Piroedrico	es el sulfuro mas común y mas ampliamente distribuida, con frecuencia se presenta en grandes cantidades con otros sulfuros de Pb-Zn-Cu-Au.

Nota. Propiedades físicas y químicas que se determino

4.3.1.1. Calcopirita.

La calcopirita (CuFeS_2) en la veta Sapanorcco, son cristales que se encuentran en forma masivo compacta, el cual es el resultado del depósito de los fluido mineralizantes, en la parte del contacto de la roca caja, mientras en la parte intermedia los minerales de cuarzo y de calcita, el cual se puede observar en los cuerpos mineralizados de la falla en forma sigmoideo, ver en la figura 19, tienen un brillo metálico, está asociado con la pirita y bornita.



Figura 19. *Minerales de calcopirita y calcita.*

4.3.1.2. Bornita

La bornita (Cu_2FeS_4) se encuentra asociado con la calcopirita, conformado la estructura de la mineralización de la veta Sapanorcco, en algunos casos está acompañado de la calcita, este mineral se reconoce por presentar una coloración jaspeada, purpura y azul como se muestra en la figura 20, tiene las mismas características que la calcopirita con respecto a su deposición.

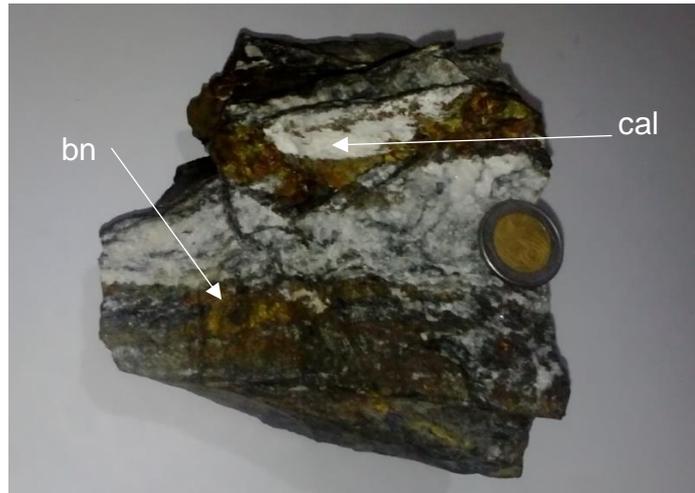


Figura 20. *Minerales de bornita y calcita, siempre acompañando el cuarzo.*

4.3.1.3. Malaquita

La malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$), se reconoce por su color característico verde, este mineral se formó por la alteración de sulfuros que aflora en la veta Sapanorcco como se puede observar en la figura 21, se produce también por la presencia de calcita como factor determinante de su formación.



Figura 21. *Mineral secundario como la malaquita en la veta Sapanorcco.*

4.3.1.4. Cuarzo

El cuarzo (SiO_2) se encuentra distribuida en gran parte de la zona de investigación, como en la estructura mineralizada; en la roca de caja en la veta Sapanorcco se encuentra minerales de cuarzo cristalizado transparente, el cual se formó posiblemente junto con el plegamiento de las rocas y el metamorfismos regional, mientras el cuarzo del cuerpo mineralizado se depositó junto con la calcita en la parte intermedia, como fluido mineralizante, posiblemente que han viajado en un segundo evento de la deposición, por las zonas fracturadas de la veta Sapanorcco, el cual se encuentra de forma bandeado, como se puede observar en las figura 22.



Figura 22. *Minerales de calcita, se observa la estructura mineralizada de la veta Sapanorcco.*

4.3.1.5. Calcita

La calcita (CaCO_3) mineral que se encuentra distribuida en la estructura mineralizada, junto con el cuarzo en la veta Sapanorcco en la parte del medio de la estructura mineralizada, se encuentra bandeado junto con calcopirita y la bornita como se



puede ver en las figuras 16 y 18, como también se encuentra calcita masivo y cristalizado en su habita en la veta Sapanorcco.

4.3.1.6. Pirita

La pirita (FeS_2) se encuentra ampliamente distribuida en toda esta zona de estudio de la veta Sapanorcco, junto con el cuarzo, la distribución espacial en el cuerpo mineralizado, no se puede identificar con facilidad ya que encuentra junto con la calcopirita, el cual viajo junto a los fluidos mineralizados a través de las fracturas, se observa cristales de pirita en la muestra de mano.

4.3.1.7. Oro

El oro (Au) estaría relacionado con el cuarzo, porque se tiene valores de ley, el cual se pueda reconocer en los valores, con la prospección geoquímica.

4.3.2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La metodología que se utilizó para realizó la investigación, es a través de la observación con equipos de laboratorio como microscopio petrográfico, para ello se preparó secciones delgadas y secciones pulidas en el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, para determinar y describir los minerales que componen la estructura mineralizada de la veta Sapanorcco, para tener una investigación fehaciente, ya que muchos minerales no se pueden ser observado macroscópicamente en campo con la lupa, además para determinar que ocurrencias de minerales podría haber ocurrido en la mineralización.



4.3.2.1. Secciones delgadas

Las secciones delgadas son superficies planas con un espesor definido de 30 μm , para investigar en microscopio óptico petrográfico por medio de la luz transmitida. Para obtener una lámina delgada, se realizó la siguiente metodología, se cortó una muestra de mano que se obtuvo de la veta Sapanorcco, en pequeñas rodajas y para luego adherirlo en una lámina de vidrio (porta) con resina, para luego pulir con los abrasivos hasta un espesor de 30 μm y luego recubrir con bálsamo, colocar en un microscopio de polarización petrográfico para observar, por medio del cual se identificó los minerales claros que componen la veta Sapanorcco.

Para la identificación de minerales claros se obtuvo tres laminas delgadas en el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, del cual se observó minerales que no se pudo determinar a una observación macroscópica o con una lupa, en estas laminas delgadas se observaron minerales de calcita y cuarzo, del cual se describe las características y la composición mineralógico de la veta Sapanorcco, a través de un microscopio de polarización petrográfico.

Muestra N° 01

En la primera muestra de sección delgada de la veta Sapanorcco se observó minerales de calcita (cal) y cuarzo (qtz), en donde se observó que ambos minerales sufrieron varios cambios, tanto en tiempo y como también en espacio.

La calcita que posiblemente fuera recristalizada, porque se encuentra este mineral en su habita, al realizar la observación a nivel macro, en las figura 22 se puede observar cómo se va entrelazando dentro del otro mineral como el cuarzo, al realizar la observación con microscopio petrográfico se determinó este mineral, es por el color que presenta incoloro, que tiene un relieve medio, como podemos observar en la figura 23 A y que además su estructura está caracterizado en su tamaño que varía.

El cuarzo tiene la misma característica en su color, su relieve cambia como se puede observar en la figura 23 A es bajo, en el tamaño de los cristales varia, porque hubo posiblemente dos eventos, por el tamaño de los cristales que presenta, hay granos de cuarzo de menor tamaño, como también granos de cuarzo mayor tamaño, en esta sección se puede observar estas características de la estructura mineralizada.

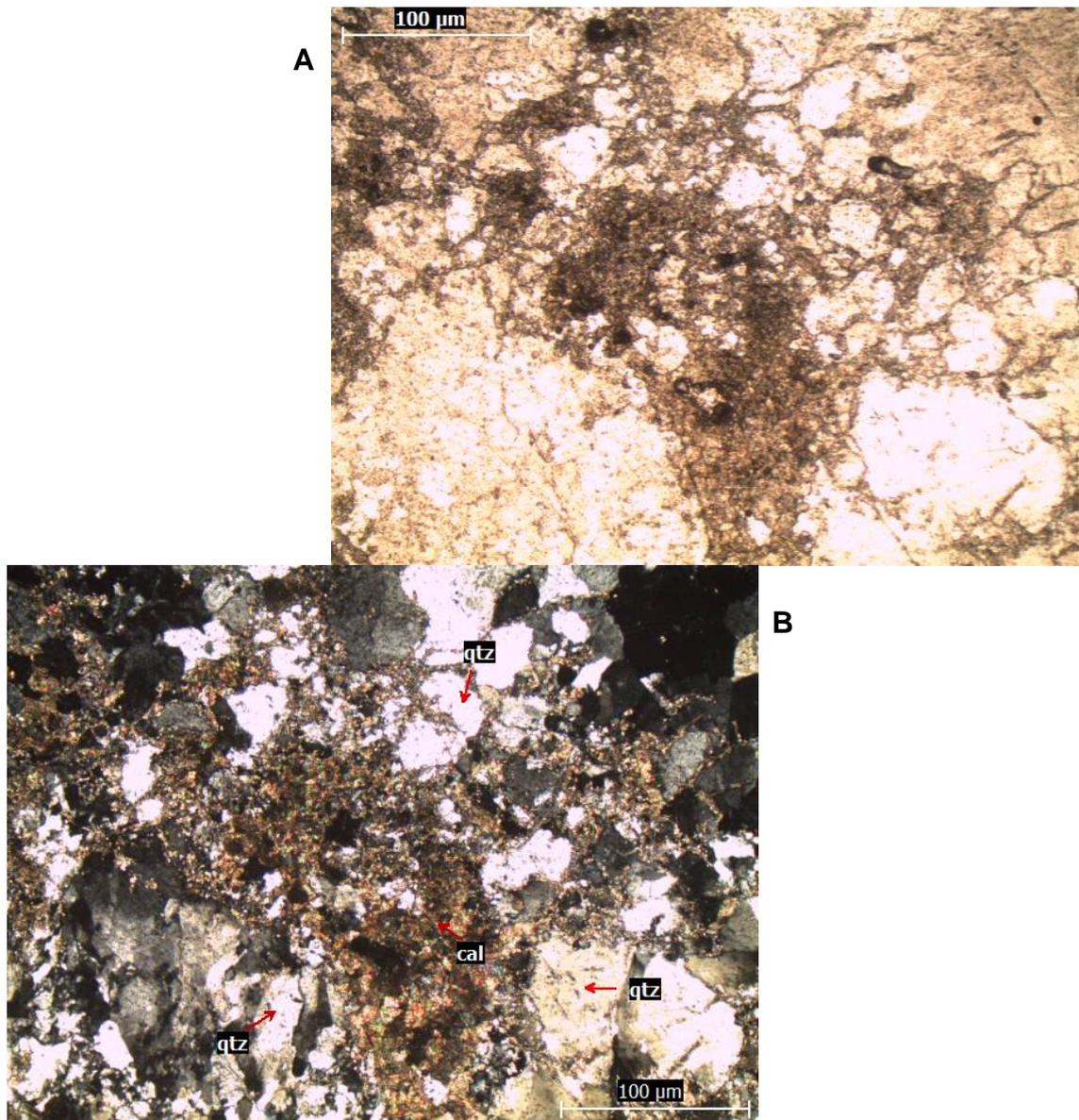


Figura 23. *A. Se muestran una imagen en nicols paralelos, en donde se observa cuarzo y calcita, B. Imagen en nicols cruzados.*

Muestra N° 02

Se observan minerales cristalizadas de la calcita, y wollastonita, como se puede observar en las figuras 24 y 25, esta cristalización en la veta Sapanorcco, posiblemente ocurrió a causa de una recristalización, entonces la calcita tendría dos eventos, en estas imágenes se observa cómo se va instruyendo junto a cuarzo, el tamaño de cristales es de 10 μm de ancho y 100 μm de largo aproximadamente.

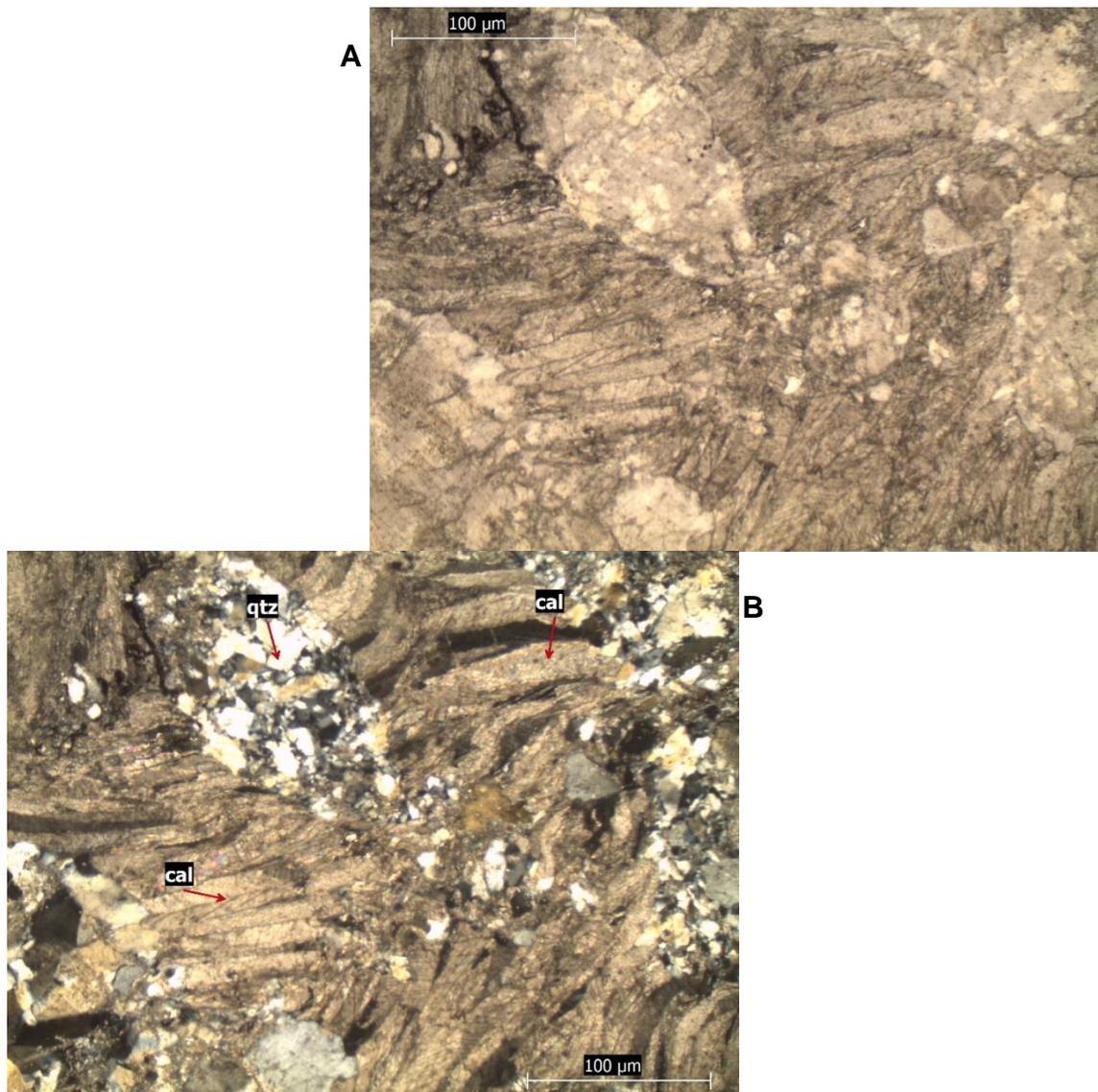


Figura 24. *A. Se observa el clivaje de calcita, B. La calcita se presenta cristalizada.*

La morfología de la calcita que presenta son euhedrales, tiene las caras definidas, mientras su clivaje es perfecto como se puede observar en la figura 24, que es su característica clásica que se puede observar.

La Wollastonita (CaSiO_3), mineral que no se pudo observar, a una observación macroscópica, solo en este caso se observó en microscopio petrográfico, el cual también presenta un color característico de los minerales que lo acompaña, que es incoloro, el tamaño de los cristales que podemos observar en la figura 25 de un tamaño de $50 \mu\text{m}$ de largo y $20 \mu\text{m}$ de ancho en promedio.

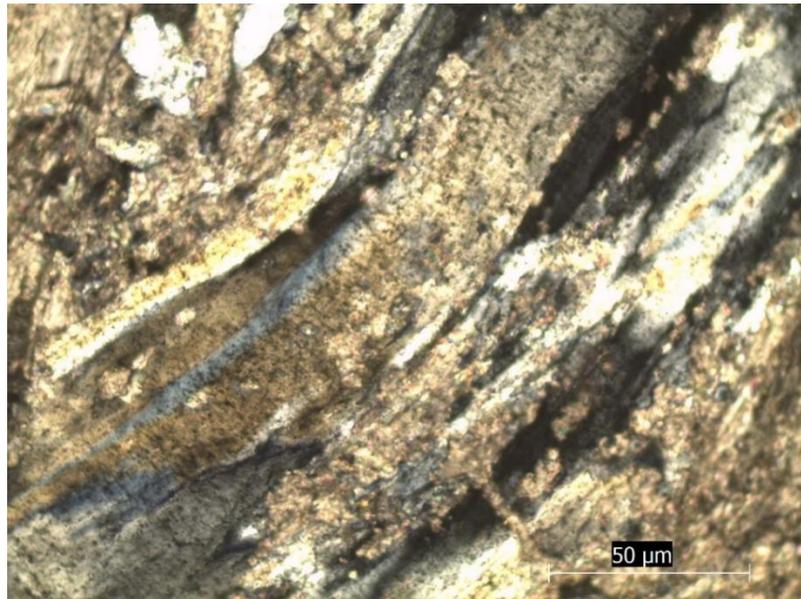


Figura 25. *Se observa mineral de wollastonita.*

Muestras N° 03

En esta muestra de la veta Sapanorcco se puede observar minerales aparte de calcita, minerales de cuarzo de dos eventos bien definidos y opacos como se puede observar en la figura 26, en donde la calcita tiene su forma bien desarrollado, como también presenta su clivaje perfecto, mientras el cuarzo, de grano mayores son de primer orden que se formó, y el cuarzo de grano masivo como se puede observar en la parte superior e inferior, esquina derecha de la figura 26 se formó segundo orden, los opacos se puede ver en la figura 26 A y B, tiene una forma anhedral dentro de la calcita, no cambia la coloración en ninguna de las imágenes de nicols paralelos y cruzados.

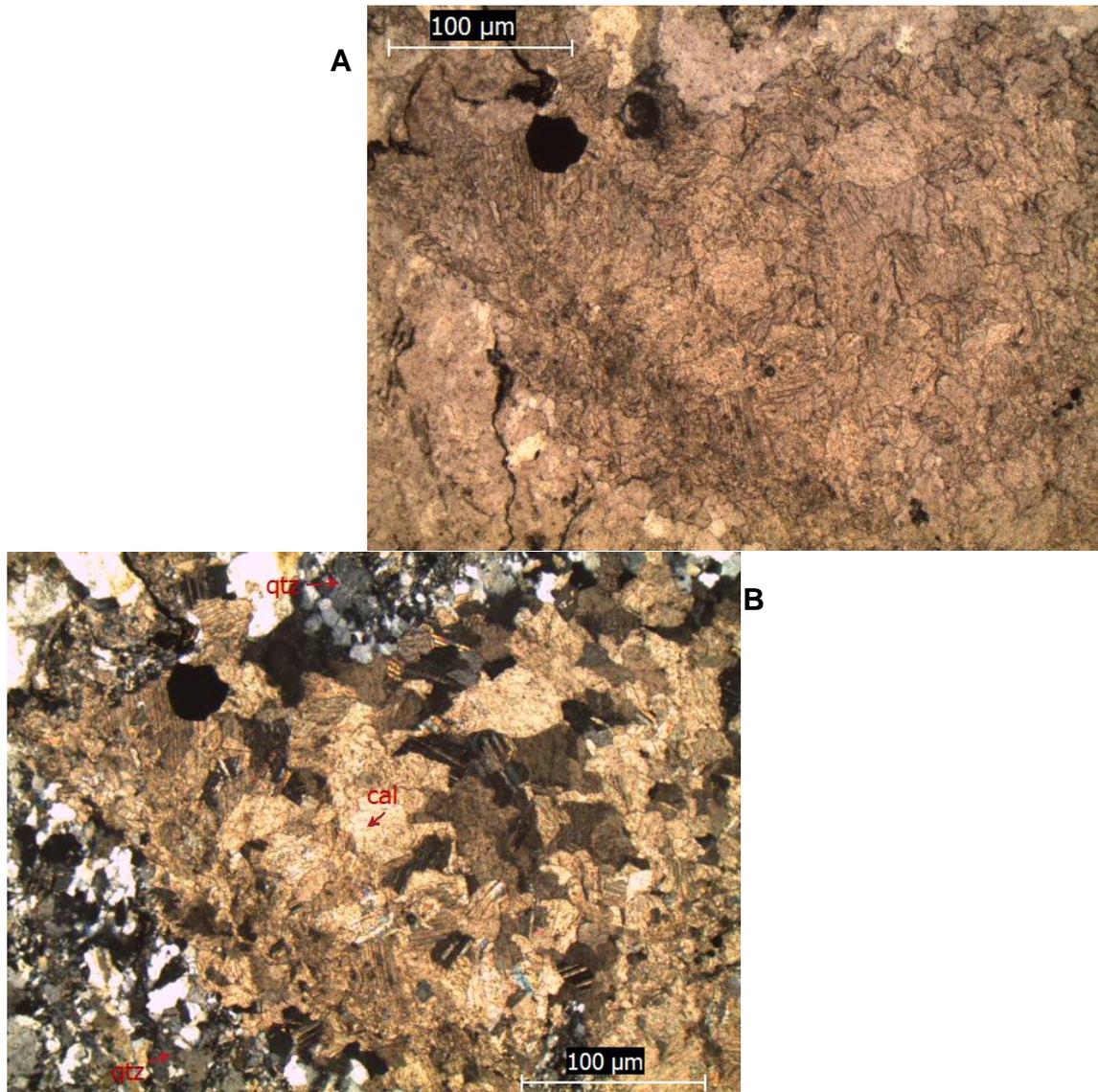


Figura 26. *A. Donde se observa el relieve bien definido de calcita y cuarzo, B. cristales de calcita.*

4.3.2.2. Secciones pulidas

Las secciones pulidas son superficies completamente pulida con acabado tipo lustre, usado para estudiar en microscopio de polarización metalográfico para determinar la composición de minerales. La metodología para obtener muestras de secciones delgadas, se cortó una muestra de mano, el cual se obtuvo de la veta Sapanorcco, en forma de cono para introducir en un molde, para luego vaciar resina preparado, y cuando ya esté seco, se realiza el respectivo pulido con los abrasivos correspondientes, para obtener la



sección pulida, para poder estudiar en el microscopio de polarización metalográfico por medio de luz reflejado.

Para determinar los minerales opacos que componen la veta Sapanorcco se preparó dos muestras de secciones delgadas en el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, como también se utilizaron los equipos de microscopio petrográfico de polarización universal (luz transmitida y luz reflejada) en donde se observó minerales de calcopirita y pirita, para describir las características y la composición de la veta Sapanorcco.

Muestras N° 01

En esta muestra se identifica minerales de calcopirita y pirita y trazas de arsenopirita, como se sabe que el mineral de calcopirita es un mineral de mena de la veta Sapanorcco, el cual se presenta su color de amarillo brillante en esta sección pulida como se puede ver en la figuras 27 y 28, su reflectancia que presenta este mineral es alta al observar con nicoles paralelos, mientras su birreflectancia y pleocroísmo es débil, su dureza relativa frente a los abrasivos que se aplico es media.

La pirita se presenta de color blanco amarillento con una reflectancia alta, porque opaca a calcopirita, como se observa en las figuras 27 y 28 y su dureza relativa que presenta es alta, esto se pudo observar que es más resistente que el mineral de calcopirita, cuando se realiza el respectivo pulido con los abrasivos y las mallas, este mineral presente en la estructura mineralizada de la veta Sapanorcco sea posiblemente de primer orden, el tamaño de los cristales esta entre menores de 15 μm .

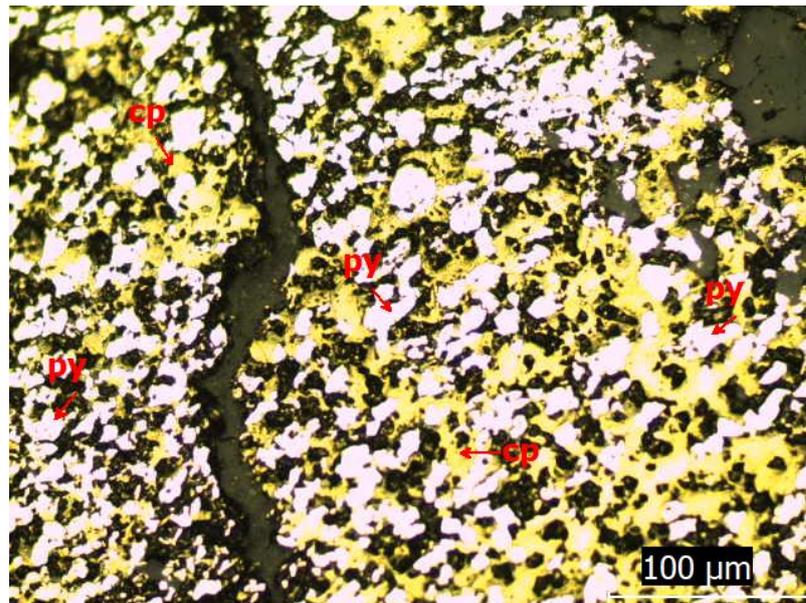


Figura 27. *Minerales de calcopirita y pirita de la veta Sapanorcco, las fisuras son producto de la voladura.*

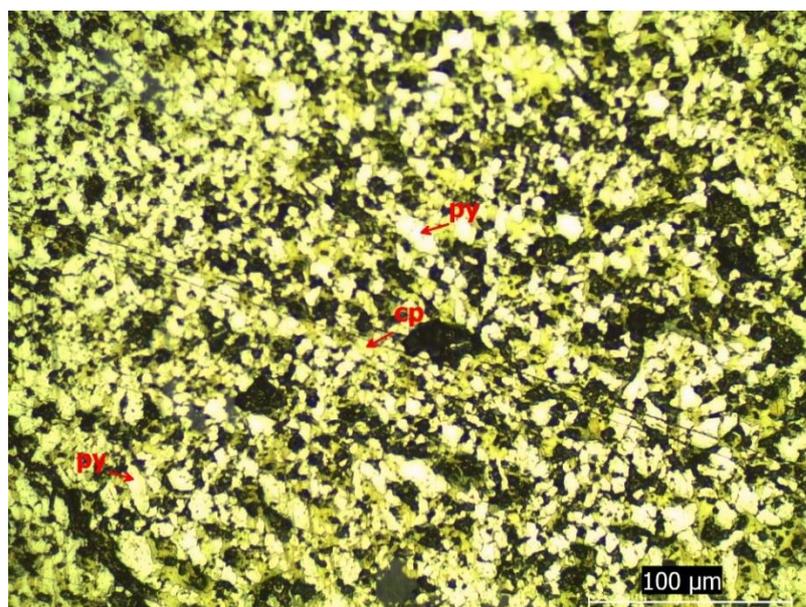


Figura 28. *La pirita presenta una reflectancia alta como se puede observar en esta imagen.*

La calcopirita como la pirita, se observó en el microscopio petrográfico como va rellenando los espacios vacíos (figura 29), la que tiene una mayor repercusión en rellenar los espacios vacíos es la calcopirita, como también se observó en las muestras que la pirita siempre va al medio de la calcopirita.

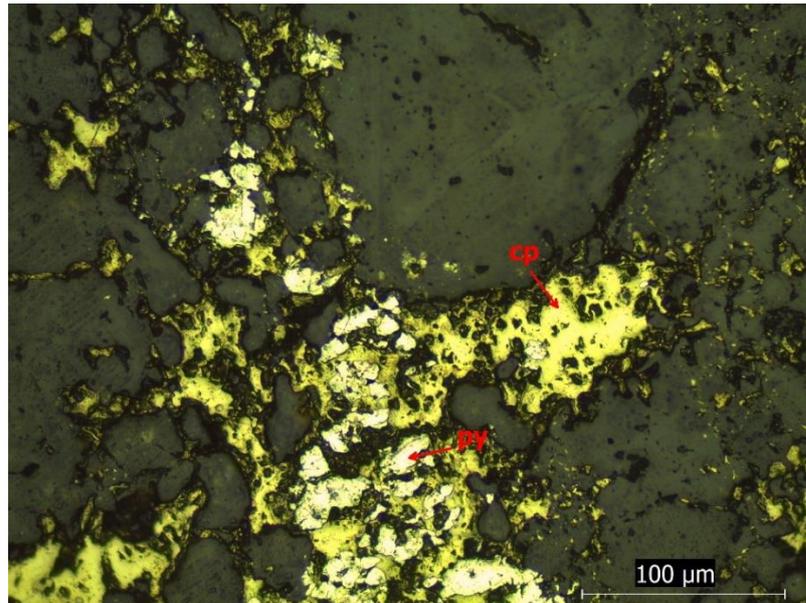


Figura 29. Relleno de espacios vacíos de calcopirita y pirita.

Muestras N° 02

En esta muestra se observa un bandiamiento de los minerales, en donde la calcopirita se encuentra zoniado, y en la parte central se concentra la pirita. Una de las cosas que se observó, el mineral de mena se concentra sin que contenga la pirita (fig. 30), sin que acompañe ningún mineral, como que se estaría definiéndose la calcopirita, lo que se pudo observar esta característica de este mineral en esta muestra de la veta Sapanorcco.

La calcopirita como se mencionó, se encuentra bandeando como un único mineral entre la ganga y la mezcla de mineral de pirita, esta separación o deposición de mineral de calcopirita se puede observar en la figura 31, en donde se concentra masivamente el mineral de mena, mientras la pirita está acompañada con calcopirita.

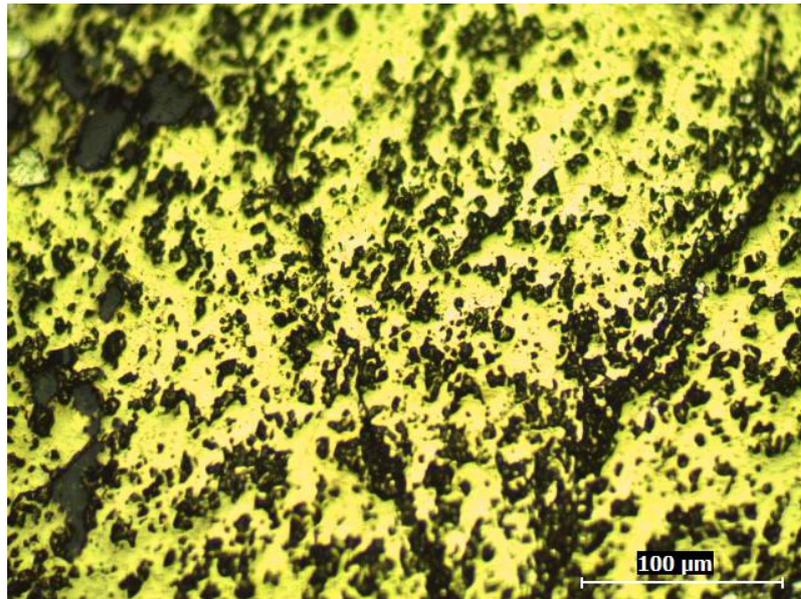


Figura 30. *Calcopirita de la veta Sapanorcco.*

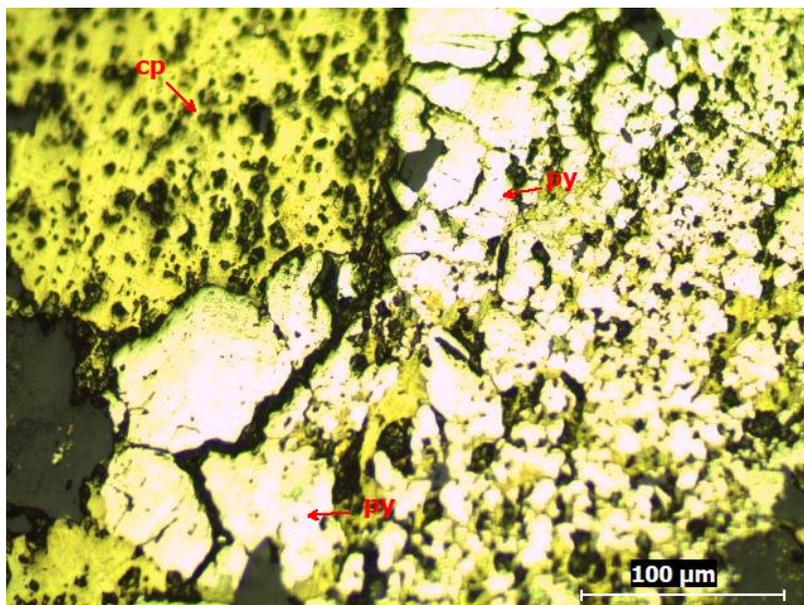


Figura 31. *Bandeamiento de minerales en la veta Sapanorcco.*

Una de las características que se observa de la calcopirita siempre va instruyendo en la ganga, mientras la pirita va concentrando como fuera una lineación (fig. 32), esta forma de ocurrencia es constante, no podemos encontrar la pirita separado de su lineación.

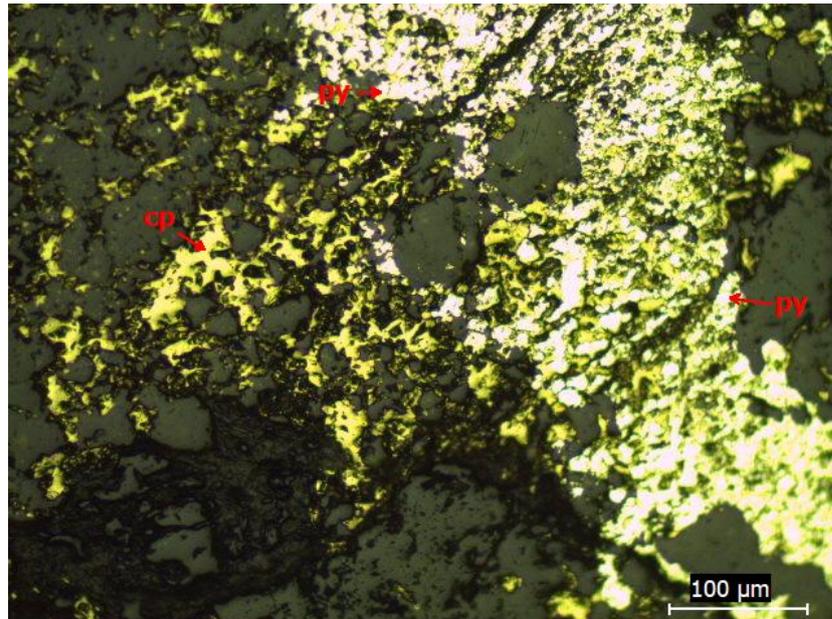


Figura 32. *Direccionamiento de la pirita, tiene un flujo, mientras la calcopirita se entrelaza.*

4.4 CONTROLES DE MINERALIZACIÓN DE LA VETA SAPANORCCO

Los yacimientos minerales están relacionados con los procesos geológicos que determinaron la forma, de las estructuras mineralizadas, lo cual intervino en la deposición de los fluidos mineralizados, para ello hubo controles de mineralización como efecto regulador en la configuración de la veta Sapanorcco.

La veta Sapanorcco, es un cuerpo que aflora con una dirección NO-SE, tiene la dirección de la cordillera de los andes, presenta oxidación de los minerales primarios, a lo cual se estudia los controles de mineralización que afectaron en la deposición de los fluidos mineralizados, para tal caso se realizó trabajos de campo, para definir como o cuales afectaron a este cuerpo mineralizado de la veta Sapanorcco.

En un cuerpo mineralizado, como de la veta Sapanorcco, se tiene entendido que los controles de mineralización son los procesos reguladores que participaron y contribuyeron directamente en la deposición de las soluciones de fluidos mineralizados de valor económicos, como en su formación de la veta Sapanorcco, los procesos



reguladores que intervinieron en la configuración de la veta Sapanorcco son los controles de mineralización.

Pero no siempre están presente todo los controles de mineralización, como es de la veta Sapanorcco, para Oyarzún y Oyarzún, (2014) el cual hace referencia que siempre está determinado por el control ejercido por la litología (control litológico) y por las estructuras (control estructural) en la distribución de la mineralización económico, ambos controles intervienen en la distribución de los cuerpos mineralizados a escala local, distrital, regional y de fajas metálicas a escala continental, en consecuencia, son factores claves en la exploración geológico-minero.

En la veta Sapanorcco, los controles de mineralización que poco o casi nada intervienen (observaciones realizadas hasta el momento) son el control fisiográfico y control estratigráfico, en el primer caso, como el control de mineralización fisiográfico se observó en algunos puntos (Fig. 33), como es la oxidación de minerales primarios, que generaron minerales secundarios como la malaquita y óxidos, en el afloramiento de la veta, como también se realizaron trabajos en el cuerpo mineralizado, para determinar la continuidad, en donde se observó la profundización de la veta Sapanorcco, como también restos de oquedades vacíos por la alteración del mineral existente como la calcopirita y pirita a minerales secundarios, de igual forma ocurre en el interior de la veta Sapanorcco, el cual se observó, gracias a los trabajos de desarrollo de un crucero, a una altura de la parte inferior de la veta que aflora en 30 m aproximadamente, esta ocurrencia de observo en las rocas sedimentarias, las que no sufrieron metamorfismo, estos rastros de ocurrencias de la veta Sapanorcco, se observó en el SE del cuerpo mineralizado, como también se observo minerales de calcita en este punto de la galería en desarrollo en el interior mina de la veta Sapanorcco.

Mientras tanto el control estratigráfico, no se observó en la veta Sapanorcco, pero se puede darse en algún momento o en algún lugar de la zona en estudio no explorado, por las características de la roca y por su geología que presenta esta zona en estudio.



Figura 33. Control fisiográfico (Tumilián, 2013), minerales secundarios como la malaquita, zonas de oxidación en círculo rojo.

Los que intervinieron en la deposición de soluciones mineralizadas de la veta Sapanorcco, serian el control litológico, control mineralógico y control estructural, unos más que otros, pero la que más connotación que tiene es el control estructural para la deposición de los fluidos mineralizados, al observar en la zona de estudio (fig. 31), no está relacionado con el control litológico, como en la mayoría de los depósitos de mineral, por otro lado la veta Sapanorcco si estaría relacionado con el control mineralógico, porque al realizar la observación en campo y la prospección geoquímica hay valores que no cambian, es casi constante.

De la veta Sapanorcco, lo que podemos deducir que la formación de la roca con respecto a la estructura mineralizada, fueron en diferentes edades, lo cual sería epigenético el cuerpo mineralizado, el cual es una veta o filón que corta la roca, en este



caso a la pizarra metamórfica, el cual ha sido cambiado o sufrido metamorfismo, de una roca sedimentaria lutita, esto se observó por los restos que quedan todavía en el área de estudio de la veta Sapanorcco.

La estructura mineralizada de la zona de estudios que aflora, como también en el interior de la mina que se desarrolló o como parte de la prospección o exploración, se observa que en ambos el control litológico no interviene, porque no reúne las condiciones físicas y químicas, la roca caja, por ello no se ha podido asociar la veta Sapanorcco con la roca de caja en esta estructura mineralizada.

La roca caja del cuerpo mineralizado es pizarra metamórfica, esta no presenta la propiedad física como es la permeabilidad, tampoco la propiedad química el cual es la reactividad, por lo que no se ha dado el control litológico en la veta Sapanorcco, tampoco con la roca metapelita que se presenta en algunas zonas. Se puede observar en campo (Fig. 34), que se desplaza solo por las fracturas los fluidos mineralizados y como su deposición, la roca de caja no tuvo ninguna reacción o control con la veta Sapanorcco, pero esto puede que cambie en algún punto, cuando se profundice la veta.



Figura 34. *La deposición de la mena no está relacionada con el control litológico, la roca caja no presenta cambios por la circulación de fluidos.*

Las condiciones favorables de la litología en la veta Sapanorcco, no cumplí las condiciones necesario para receptor los fluidos que viajaron por las zonas de debilidad o fracturamiento como podemos observar en la figura 34, en el afloramiento de la veta (Fig. 35), como en el interior del desarrollo de la mina, se observa las mismas condiciones tanto en la pizarra como en la metapelita, estas rocas no presentan condiciones favorables como la permeabilidad y reactividad.



Figura 35. *La deposición se realiza en las zonas fracturadas, mas no en la roca como es el caso de la metapelita.*

Se observó el control litológico solo en el cambio de litología, en la veta Sapanorcco, en donde se presentó este cambio por la presencia de protolitos, el cual tiene un grado considerable de fracturación, por donde circularon y se depositaron los fluidos mineralizados, se ramificaron la mineralización en forma de sigmoides como se puede observar en la Figura 35, esta roca es una metapelita, mientras en la roca caja pizarra se observa menor fracturación en donde la veta se concentra en un solo cuerpo como en la Figura 36, lo cual se observa en la veta que aflora como en el interior de la mina en prospección.

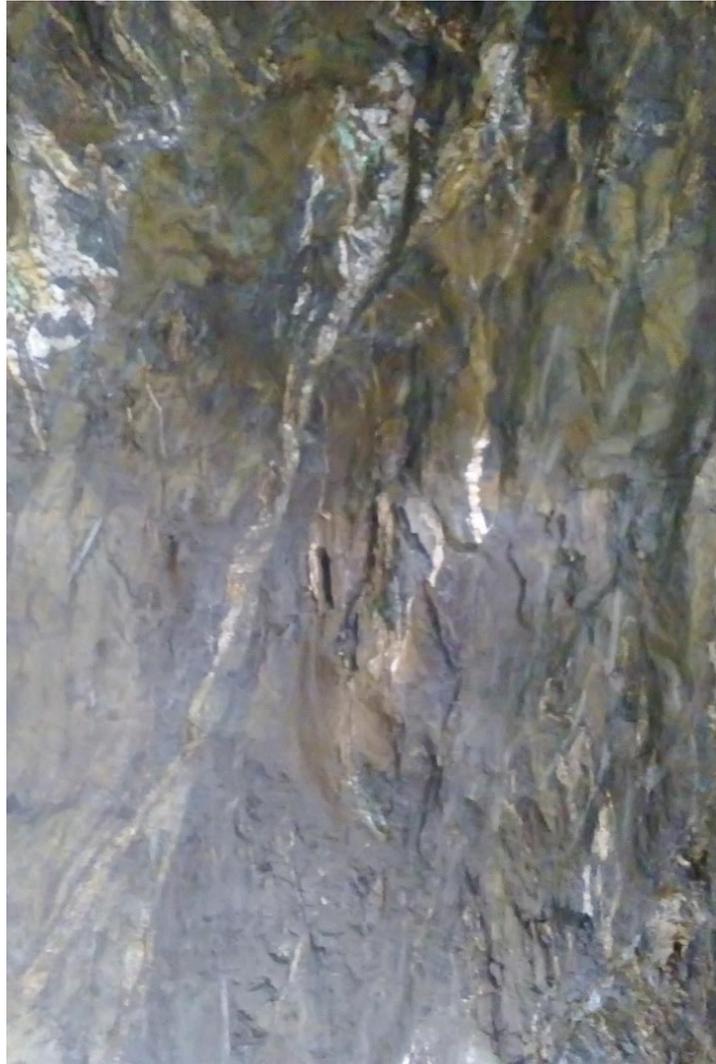


Figura 36. *Ramificación de la veta en la roca metapelica. En interior mina no ocurrió, esta ramificación, porque es roca pizarra, mientras en la parte exterior es protolito.*

4.4.1. CONTROL MINERALÓGICO DE LA VETA SAPANORCCO

En la deposición de fluidos mineralizados en la veta Sapanorcco, el control mineralógico se observó en la estructura mineralizado, en la variación de la acumulación en secuencias dentro de la veta, estas deposiciones gracias a la geología estructural se formaron en lazos cimoide, por otra parte, con respecto a la roca caja no se observó ninguna intervención o anomalías que afectaran en la mineralogía de los depósitos de los fluidos mineralizados.

El control mineralógico está relacionado por el avance de los fluidos mineralizados y su composición, el cual definió la secuencia en su variación de su deposición de la veta Sapanorcco, el cual se puede observar de la siguiente manera, en la parte periférica se encuentra minerales de sulfuros como calcopirita, bornita y pirita, mientras en la parte del medio se ubican minerales de cuarzo y calcita.

La roca caja no sufrió la alteración en la deposición de la veta Sapanorcco, el cual se observa en la veta que aflora como en el interior del desarrollo de exploración o prospección de la mina, el cual sería que la roca no presenta las condiciones en la alteración, entonces no sustituye mineral de la veta Sapanorcco, como tampoco la veta a la roca.

4.4.1.1. Mineralización primaria

Se observó en la veta Sapanorcco la distribución de minerales primarios, como menas y gangas, esta relación está representado por los minerales como la calcopirita, bornita y pirita, y los minerales de ganga como cuarzo y calcita, los cuales se deferenca en la veta Sapanorcco, en donde podemos deducir que existió dos eventos, por la secuencia de su deposición de la veta, estas estructuras se observar en las fracturas en donde se depositaron en forma de sigmoidea o en forma de lentejas, en el contactos con la roca, los minerales de mena y en el medio cuarzo y cacita, en algunos puntos se observa que se tiene cuerpos de mineralización más potentes midiendo de largo aproximadamente de 3 m, y el ancho promedio de 1 m, teniendo la forma de un sigmoideo o lenteja, el cual se puede observar en la superficie e interior de la mina de la veta Sapanorcco (fig. 39) .

Se observó, que la forma de la deposición no solo tiene la forma de cimoide, esta deposición está relacionado con la geología estructura, el cual ha dado las formas variados

que se depositaron en las zonas de debilitamiento o espacios dejado por la falla existente (Fig. 37).



Figura 37. *La migración de los fluidos a través de las zonas debilitadas.*

4.4.1.2. Productos de oxidación

Los andes peruano, en un factor limitante, lo que hace indicar que no hay mucha profundización en la oxidación; en los trabajos realizados en la prospección geológica del interior mina, se observó en algunos puntos en la veta Sapanorcco, restos de oquedades de mineral oxidado, como también oxidación de sulfuros a malaquita, esta anomalía se observó en donde se ubica minerales cristalizados de calcita, mientras en la veta que aflora se observó minerales oxidados, trazas de minerales de sulfuros, también mineral secundario como malaquita.

En la veta Sapanorcco que aflora, se observa mineral de malaquita, producto de la alteración de los sulfuros como se puede observaren la figura 38, como también trazas de sulfuros, es producto a la exposición a la intemperie, que fueron afectados por las aguas meteóricas en épocas lluviosos, como también del clima de la zona en estudio.

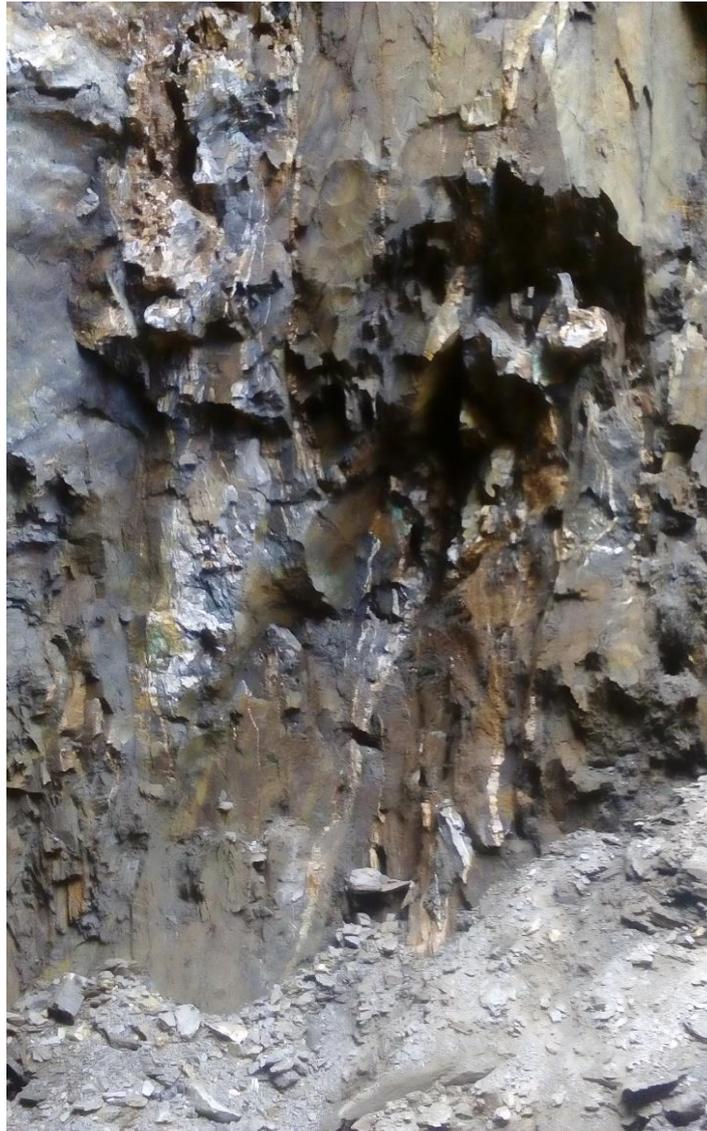


Figura 38. *Oquedades dejadas por la oxidación.*

Existe trazas dejadas por la oxidación de minerales primarias como los sulfuros (Fig. 38), lo cuales pudiera fluir a las zonas profundas, para su deposición, por la precipitación de aguas meteóricas, los cuales circulan por las fallas, zonas de diaclasamiento de la roca.

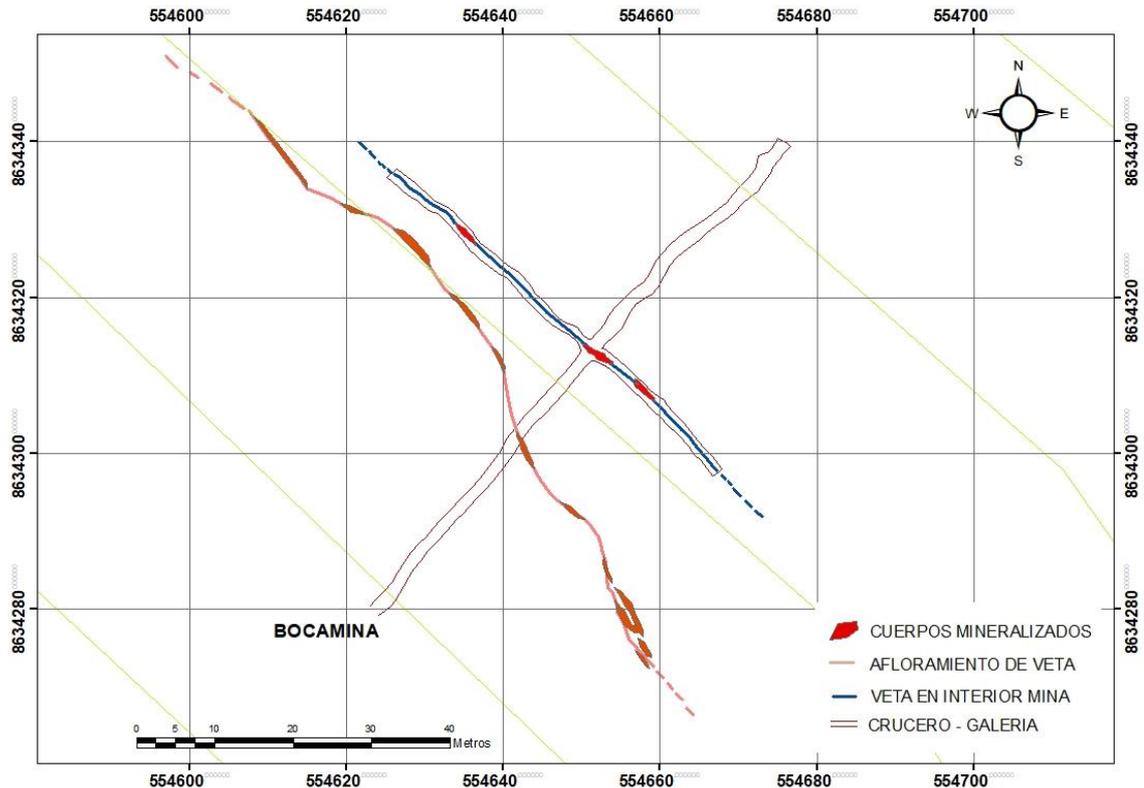


Figura 39. Exposición de la veta Sapanorcco en la superficie y en interior mina.

4.4.2. CONTROL ESTRUCTURAL DE LA VETA SAPANORCCO

En la zona de estudio, se tiene esfuerzo y deformaciones de la roca, los cuales generaron el control estructural de la veta Sapanorcco, para la deposición de los fluidos mineralizados, porque fue un factor determinante, como en su morfología de la estructura mineralizada, del cual en la zona de prospección geológica se generaron plegamientos y fracturaciones por las fuerzas tectónicas que se ocurrieron en diferentes momentos de la historia geológica.

Al realizar la investigación en campo sobre esta veta Sapanorcco, el control estructural fue un factor determinante muy importante en la formación de este filón o estructura mineralizada, en el cual hubo una serie de eventos geológicos que crearon un ambiente para la deposición en esta zona, en donde se generaron plegamientos y fracturación de la roca existente, por lo principios fundamentales de esfuerzos y

deformaciones, por los cuales los fluidos mineralizados viajaron y se depositaron (fig. 40).

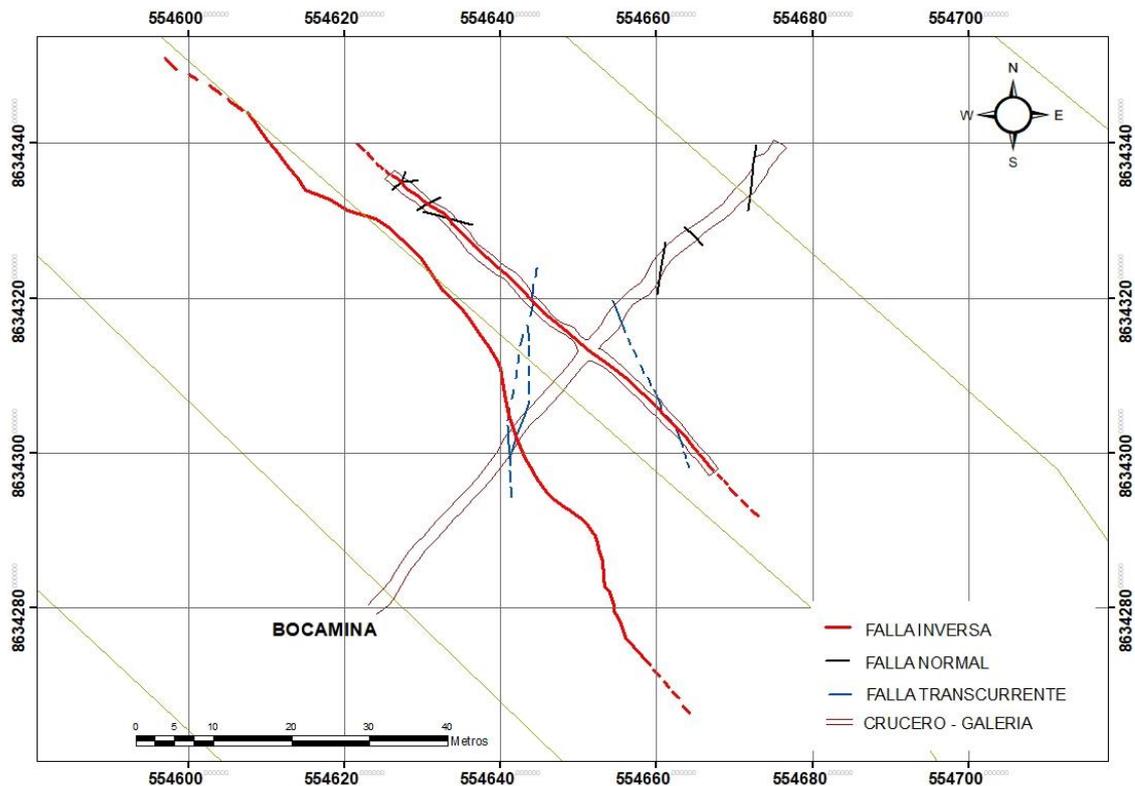


Figura 40. *Deposición de la veta Sapanorcco en la falla inversa, fallas post mineralizados.*

En la zona de estudio se observa los esfuerzos que se generaron en la roca pizarra, como también deformaciones de la roca, ambos principios fundamentales que actuaron en la zona de prospección geológico, lo cual también se puede ver en todo el distrito, que presenta una geomorfología agreste, gracias a estos principios fundamentales de la geología estructural que deformaron.

El esfuerzo está relacionado con la fracturación de la roca, el cual generaron fallas, que pudieron ser en diferentes edades geológicas, en la veta Sapanorcco se observó que hubo varios esfuerzos en diferentes momentos o edades geológicas, los cuales son anteriores a la formación de la veta Sapanorcco, porque la rocas protolito, que sería una lutita, roca sedimentaria sufrió deformaciones como esfuerzos, como también la roca de



caja de la veta Sapanorcco que es pizarra una roca metamórfica, que sufrió los esfuerzos como deformaciones, el cual se observa en el desplazamiento de la veta Sapanorcco.

La deformación en la zona de prospección geológico, de la roca se observó que también ocurrieron en varios eventos deformacionales, en diferentes edades geológicas, los cuales se puede deducir por los minerales que se depositaron en ciertas áreas, antes de la deposición de los fluidos mineralizados de la veta Sapanorcco.

4.4.2.1. Falla de la veta Sapanorcco

La falla que se generó para la deposición de los fluidos mineralizados, fueron por las fuerzas compresionales, el cual la roca se comportó de manera frágil, pérdida de resistencia por la aplicación de esfuerzos compresionales, el cual es un resultante del esfuerzo que se tuvo para concretar la falla en donde se depositó los fluidos mineralizados de la veta Sapanorcco.

El esfuerzo (stress), aplicado en la roca son los resultantes de las fallas, por donde se desplazó los fluidos mineralizados y se depositó, esta falla tiene una dirección andina, lo cual estaría influenciado por la orogenia andina, el cual tiene una dirección o rumbo promedia de 33° NO, el comportamiento frágil de la roca es depende del tipo de roca que se presenta, hay mayor fracturación en metapelitas, mientras en la roca pizarra se observa menor grado de fracturación, el cual configura la veta Sapanorcco, hay una concentración de la veta en la roca pizarra, mientras en la roca metapelita por su grado de fracturación se disemina la veta, el esfuerzo que se aplica y su comportamiento frágil es depende de las características de la roca, el cual fue un factor en el control de mineralización.

La falla en donde se depositó la mena, es una falla inversa de dirección o rumbo de 33° NO, con una dirección de buzamiento de 63° NE y en algunas zonas la dirección de buzamiento cambia inclinándose hasta 50° NE, fue el producto de las fuerzas



compresionales que se tuvo, el cual genero la falla, creando espacios vacíos, por donde se desplazó los fluidos y su deposición para formar la veta Sapanorcco, la deposición del cuerpo mineralizado en la falla tiene una configuración sigmoidal.

También se observó fallas post mineralizados (figura 40), lo más resaltantes son las fallas transcurrentes, porque sea, que son las fracturas de una falla principal de este tipo, que tiene una dirección casi 0° N-S o inclinándose a NON-SES.

4.4.2.2. Pliegues en Sachabamba y Tancar

En esta zona de prospección geológico se observa deformaciones de la roca, el cual generaron plegamientos de los estratos de rocas, generando un comportamiento dúctil de la roca; como se tiene en conocimiento la concesión se encuentra entre estas dos localidades de Sachabamba y Tancar, se observa la deformación de la roca, generando plegamientos con una dirección andina de NO-SE, tomando casi la misma dirección de la veta Sapanorcco, los plegamientos tienen una dirección o rumbo de 53° NO.

Se observa plegamientos de nivel regional en la zona, el cual en su mayoría tiene una dirección de la cordillera de los andes, gracias a las fuerzas compresionales que generaron estas deformaciones, como el acortamiento de los estratos de lutitas, generando pliegues el cual pudiera ser antes o durante el metamorfismo de la roca, el cual se observa, por el mineral de cuarzo cristalizados en los anticlinales y sinclinales de la que roca, de los rastros de la roca metamórfica que quedan, esto se observó en el desarrollo de la prospección geológica de las galerías del crucero hacia la veta Sapanorcco, antes como después de intersectar la veta se observa los cristales de cuarzo en los planos axiales de la corvadura.

La mineralización solo se dio en la falla, mas no en los flacos o planos axiales del pliegue que existen todavía en la pizarra, es a causa de que no presenta permeabilidad la

roca, por donde pudiera transitar libremente; en la veta Sapanorcco se observa el plegamiento de la roca, donde aflora el cuerpo mineralizado (fig. 41).



Figura 41. Exposición de un pliegue en la veta Sapanorcco..



V. CONCLUSIONES

- ✓ La veta Sapanorcco es un tipo de estructura mineralizada que correspondería a una estructura de relleno de fracturas epigenéticas emplazadas en rocas metamórficas de la cordillera Oriental.
- ✓ La composición mineralógica que contiene la veta Sapanorcco son la calcopirita, bornita y malaquita como minerales de valor económico, cuarzo, calcita, pirita y wollastonita como minerales de ganga.
- ✓ El control de mineralización de la veta Sapanorcco, es definido por el control estructural, el cual es el resultado de los esfuerzos que crearon una fractura, generando la falla inversa de dirección o rumbo de 33° NO, con un buzamiento de 63° NE, por donde circuló y se depositó los fluidos mineralizados, dando como resultado a la veta Sapanorcco.



VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar estudios de inclusiones fluidas para determinar con exactitud el tipo de yacimientos que pertenece la veta Sapanorcco.
- ✓ Realizar estudios mineralógicos con análisis de difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) y de transmisión (TEM-AEM).
- ✓ Se debe de realizar un estudio de geofísica y perforaciones diamantinas con la finalidad de determinar el comportamiento en profundidad de la veta Sapanorcco.



VII. REFERENCIAS

- Ariosa Iznaga, J. D., & Díaz Martínez, R. (2001). MODELOS DE YACIMIENTOS MINERALES : TIPOLOGÍAS Y APLICACIONES. *Revista Minería y Geología*, XVIII(2001), 1–12.
- Bateman, A. M. (1982). *YACIMIENTOS MINERALES DE RENDIMIENTO ECONOMICO* (6th ed.). Barcelona: Ediciones Omega, S. A.
- Behar Rivero, D. S. (2008). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Shalom.
- Bernal, C. A. (2010). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Bogotá: PEARSON EDUCACION.
- Bustamante Romaní, A. (2008). *PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA POR YACIMIENTOS DE Au Y Cu EN LA CORDILLERA ORIENTAL-DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN Y LA LIBERTAD*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Castro León, E. Z. (2016). *Teoría y Práctica de la investigación científica*. Huancayo.
- Castroviejo Bolibar, R. (2005). *FUNDAMENTOS DE OPTICA MINERAL*.
- Chirif Rivera, L. H. (2010). *MICROSCOPIA OPTICA DE MINERALES*. Lima: INGEMMET.
- Chui Ccama, F. G. (2016). *PROSPECCIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO CUNUYO 2003, SINA - PUNO*. Universidad Nacional Del Altiplano - Puno.
- Consejo de Recursos Minerales. (2005, March). AFLORAMIENTOS. *Año IV, Num. 25, Marzo 2005*.
- Consejo de Recursos Minerales. (2005). AFLORAMIENTOS. *Año IV, Num. 24, Febrero 2005*.
- Cox, D. P., Singer, D. A., & Rodriguez, E. A. (1987). MODELOS DE YACIMIENTOS MINERALES. *U. S. Geological Survey*.
- Dávila Burga, J. (2011). *DICCIONARIO GEOLOGICO* (3rd ed.). Lima: INGEMMET.
- Del Cid Pérez, A., Méndez, R., & Sandoval Recinos, F. (2007). *INVESTIGACION. FUNDAMENTOS Y METODOLOGIA*. Mexico, D.F.: PEARSON EDUCACION.
- Departamento de Cristalografía y Mineralogía. (n.d.). *MINERALOGIA I 2LG - GUIÓN*



- DE PRÁCTICAS*. Madrid. Retrieved from [https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15563/Guión de prácticas.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15563/Guión_de_prácticas.pdf)
- Griem, W. (2017). *CLASIFICACION DE DEPOSITOS*. Retrieved from <https://www.geovirtual2.cl/depos/depclas01.htm>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, R., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Mexico, D.F.: MgGRAW-HILL.
- Huang, W. T. (1991). *PETROLOGIA*. Mexico, D.F.: EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.
- INGEMMET. (1966). *GEOLOGIA DE CUADRANGULO DE PAMPAS*. Lima: Carta Geol. Nac. Boletín N° 12, Serie A.
- INGEMMET. (1998). *GEOLOGIA DE LOS CUADRANGULOS DE QUITENI Y CANAIRE*. Lima: Bolitin, Seria A. Carta Geol. Nac. 24ñ-25ñ.
- INGEMMET. (2003). *MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA REVISION Y ACTUALIZACIÓN DEL CUADRÁNGULO DE PAMPAS (25-N)*. Lima: Carta Geol. Nac. Boletín N° 12, Serie A.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (n.d.). *INVESTIGACION DEL COMPORTAMIENTO* (4th ed.). Santiago: McGraw-Hill.
- Lillo, J., & Oyarzun, R. (2013). *GEOLOGIA ESTRUCTURAL APLICADA A LA MINERIA Y EXPLORACION MINERA*. Madrid: GEMM-Aula2punteret.
- Martinez Catalan, J. R. (2003). *GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y DINAMICA GLOBAL*. Salamanca.
- Méndez Baamonde, J. (2006). *PETROLOGIA*. Caracas: PDVSA INTEVEP.
- Monreal Saavedra, R. (2013). LA EXPLORACION GEOLOGICA. *EPITEMUS*, 73–77. Retrieved from www.epistemus.uson.mx
- Nelson, C. E., & Nietzen, F. (2000). METALOGENIA DE ORO Y COBRE EN AMÉRICA CENTRAL. *Revista Geologica de America Central*, 23(1), 25–41.
- Oyarzún, J., & Oyarzún, R. (2014). *LEXICO DE GEOLOGIA ECONOMICA*. La Serena - Madrid: Ediciones GEMM - Aula2punteret.
- Oyarzún M., J. (2009). *LÉXICO SOBRE PORCESOS Y ESTRUCTURAS GEOLOGICAS*. La Serena.



- Oyarzun, R., & Doblas, M. (n.d.). FALLAS Y ZONAS DE CIZALLA (PARTE 2): APLICACIONES AL ESTUDIO DE SISTEMAS DE MINERALIZADOS Y LA EXPLORACION. Retrieved from https://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Geologia_YYMM_Index/Geologia_yacimientos_minerales.html
- Prado Alemán, J. R. (2018). *PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA EN LOS SECTORES DE PATARA Y CORICANCHA – UNIDAD MINERA HUACHOCOLPA UNO, SUBUNIDAD BIENAVENTURADA*. Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa.
- Rojas Caballero, D. R., & Parédes Ángeles, J. (2013). *COMPENDIO DE GEOLOGIA GENERAL*. Lima: Empresa Editora Macro EIRL.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *CLASIFICACION DE YACIMIENTOS MINERALES*.
- Smirnov, V. I. (1982). *GEOLOGIA DE YACIMIENTOS MINERALES*. Moscu: MIR MOSCÚ.
- Townley, B. K. (2001). *METALOGENESIS: HIDROTERMALISMO Y MODELOS DE YACIMIENTOS*. Santiago.
- Tumialán de la Cruz, P. H. (2003). *COMPENDIO DE YACIMIENTOS MINERALES DEL PERÚ*. Lima: INGEMMET.



ANEXOS

A. PANEL FOTOGRÁFICO DE EQUIPOS Y MATERIALES DE MEGA LABORATORIO DE UNA



Figura. A.1. Cortadora de roca, marca FELKER, de disco continuo adiamantada, que se corta con refrigeración de agua



Figura A.2. Resina (EpoFix Resin) y endurecedor (EpoFix Hardener), vienen en kit de marca Struers



Figura A.3. Moldeado con resina para secciones pulidas



Figura A.4. Desgastadora de marca Struers, para realizar las secciones delgadas y secciones pulidas, se aplica abrasivos y agua con diferentes mallas (N° de mallas)



B. PLANO DE UBICACIÓN

C. PLANO GEOLOGICO