



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA DEFINIR LA  
PARAGÉNESIS DE LA VETA SAN JOSÉ DEL YACIMIENTO  
KAMI, COCHABAMBA – BOLIVIA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. WALTER ERNESTO GODIEL TURPO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA D  
EFINIR LA PARAGÉNESIS DE LA VETA S  
AN JOSÉ DEL YACIMIENTO KAMI, COC**

AUTOR

**WALTER ERNESTO GODIEL TURPO**

RECUENTO DE PALABRAS

**18545 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**109655 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**103 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 31, 2024 4:26 AM CST**

FECHA DEL INFORME

**May 31, 2024 4:28 AM CST**

● **13% de similitud general**

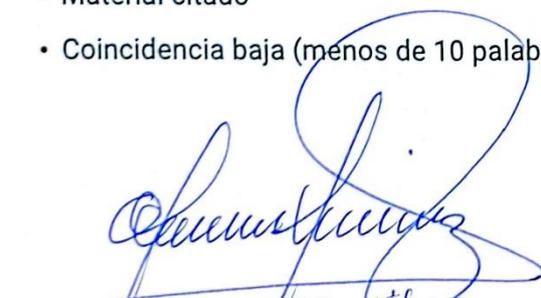
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



  
AGUSTÍN V. VELEZ VILELA  
ASESOR

Resumen



## DEDICATORIA

Con cariño para mis padres Daniel Godiel y Amelia Turpo por haberme inculcado valores, apoyado incondicionalmente, brindándome su comprensión, paciencia, cariño y amor durante mi formación académica, muchos de mis logros se los debo a ustedes. A mi hermano Abelardo por su gran apoyo y a mi hermana Verónica que siempre me guía desde el cielo cada paso que doy.

A Danidza por su apoyo constante e incondicional durante todo este tiempo y a mi amigo Omar Vizcarra por su apoyo durante la ejecución de este proyecto.

*Walter Ernesto Godiel Turpo*



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa y líder institución, así poder prepararme con sabiduría, dedicación y formarme como profesional idóneo y competente para la vida.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica que me brindaron sus conocimientos, habilidades y compartirme su amplia experiencia durante mis 5 años de formación profesional.

A mi asesor de tesis M.Sc. Agustín Vélez Vilca, por haberme dado la oportunidad de acudir a su capacidad y conocimiento científico, así mismo por haberme tenido la paciencia para poder guiarme durante todo el desarrollo y la culminación de este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado D.Sc. Miguel E. Calcina Benique, M.Sc. Roger Gonzales Aliaga, Ing. Ruth L. Quispe Sandoval, por su predisposición, observaciones, correcciones, y sugerencias, para la realización de este trabajo de investigación.

A la empresa TMB Servicios Mineros S.R.L. por el apoyo en la facilidad de acceso a la información y obtención de muestras representativas para la ejecución de la presente investigación.

Para finalizar, agradezco a todos mis compañeros de clases y amistades que contribuyeron para la culminación de este proyecto de investigación.

*Walter Ernesto Godiel Turpo*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas específicos .....	19
<b>1.3 HIPÓTESIS DE ESTUDIO .....</b>	<b>19</b>
1.3.1 Hipótesis general.....	19
1.3.2 Hipótesis Especificas .....	19
<b>1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos .....	20
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>20</b>

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA



<b>2.1</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>PROPIEDADES DEL TUNGSTENO .....</b>	<b>23</b>
2.2.1	Formas en que se presenta .....	24
2.2.2	Asociación paragenética .....	25
<b>2.3</b>	<b>PARAGENESIS .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4</b>	<b>MINERAGRAFIA .....</b>	<b>26</b>
2.4.1	Secciones pulidas .....	26
2.4.2	Cuidado e instalación de secciones pulidas .....	27
2.4.3	Problemas de pulido.....	29
2.4.4	Características ópticas de los minerales.....	29
2.4.4.1	Propiedades observadas con nicoles paralelos.....	29
2.4.4.2	Color: .....	30
2.4.4.3	Reflectancia .....	30
2.4.4.4	Birreflectancia.....	30
2.4.4.5	Pleocroísmo .....	30
2.4.5	Propiedades observadas en nicoles cruzados .....	31
2.4.5.1	Anisotropía.....	31
2.4.5.2	Reflexiones internas.....	32
2.4.5.3	Dureza relativa.....	33
2.4.6	Inclusiones o diseminaciones.....	34
2.4.7	Intercrecimientos o amarres .....	34
<b>2.5</b>	<b>PETROGRAFÍA.....</b>	<b>35</b>
2.5.1	Microscopio petrográfico.....	35
2.5.2	Partes del microscopio .....	35
2.5.2.1	Partes mecánicas: .....	36



2.5.2.2	Partes ópticas .....	37
<b>2.6</b>	<b>FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XFR) .....</b>	<b>38</b>
2.6.1	Principio de la Fluorescencia de rayos X.....	38
<b>2.7</b>	<b>INCLUSIONES FLUIDAS (IF).....</b>	<b>39</b>
2.7.1	Temperatura .....	40
2.7.2	Presión.....	40
2.7.3	Densidad y Composición .....	41
<b>2.8</b>	<b>GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>41</b>
2.8.1	Formación Anzaldo - (Oan).....	42
2.8.2	Formación Amutara - (Oam).....	43
2.8.3	Formación Cancañiri – Scc.....	43
2.8.4	Formación Uncía – Sun .....	44
2.8.5	Formación Catavi – Sct.....	44
2.8.6	Cuaternario.....	45

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>46</b>
3.1.1	Equipos y materiales de campo.....	46
3.1.2	Equipos de laboratorio .....	47
<b>3.2</b>	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>47</b>
3.2.1	Etapa de gabinete I.....	47
3.2.2	Etapa de campo .....	48
3.2.3	Etapa de gabinete II.....	50

### **CAPÍTULO IV**

#### **CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**



<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4</b>	<b>GEOLOGIA LOCAL.....</b>	<b>58</b>
4.4.1	Litología de la Formación Amutara.....	58
4.4.2	Geología Estructural .....	62
4.4.3	Mineralización .....	63
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
<b>5.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GEOLOGÍCAS DEL YACIMIENTO KAMI.....</b>	<b>66</b>
5.1.1	Descripción petrográfica.....	66
5.1.2	Inclusiones Fluidas.....	72
<b>5.2</b>	<b>SECUENCIA PARAGENETICA DE LA VETA SAN JOSE .....</b>	<b>77</b>
5.2.1	Descripción macroscópica .....	77
5.2.2	Descripción mineragráfica .....	87
5.2.3	Fluorescencia de rayos X.....	105
5.2.4	Paragénesis de la Veta San José.....	110
5.2.5	Zoneamiento .....	113
<b>5.3</b>	<b>DISCUSION .....</b>	<b>113</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>121</b>

**Área** : Geología de minas

**Tema** : Caracterización geológica para definir la paragénesis de la veta San José del yacimiento Kami, Cochabamba – Bolivia

**Fecha de sustentación:** 12/06/2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Propiedades físicas de la wolframita. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas de la Scheelita. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Ejemplos de minerales anisotrópicos.....	32
<b>Tabla 4.</b> Ejemplos de minerales con reflexiones internas.....	32
<b>Tabla 5.</b> Coordenadas del área de estudio.....	55
<b>Tabla 6.</b> Accesibilidad al área de estudio. ....	56
<b>Tabla 7.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 120.....	88
<b>Tabla 8.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 120.....	89
<b>Tabla 9.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 121.....	90
<b>Tabla 10.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 121.....	91
<b>Tabla 11.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 122.....	92
<b>Tabla 12.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 122.....	93
<b>Tabla 13.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 123.....	93
<b>Tabla 14.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 123.....	95
<b>Tabla 15.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 124.....	95
<b>Tabla 16.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 124.....	97
<b>Tabla 17.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 125.....	97
<b>Tabla 18.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 125.....	99
<b>Tabla 19.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 126.....	99
<b>Tabla 20.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 126.....	101
<b>Tabla 21.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 127.....	101
<b>Tabla 22.</b> Descripción microscópica de la muestra MVK – 127.....	103
<b>Tabla 23.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 128.....	103
<b>Tabla 24.</b> Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 128.....	105



<b>Tabla 25.</b>	Elementos identificados con FRX de la muestra MVK - 129 .....	107
<b>Tabla 26.</b>	Elementos identificados con FRX de la muestra MVK - 130 .....	109
<b>Tabla 27.</b>	Elementos identificados con FRX de las 2 muestras proveniente de la veta san José y estimación de contenidos .....	110



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Procedimiento para la preparación de una muestra en sección pulida. ....	27
<b>Figura 2</b> Variación de absorción de las diferentes longitudes de onda, en un mineral pleocroico. ....	31
<b>Figura 3</b> Dureza relativa de los minerales.....	33
<b>Figura 4</b> Microscopio de polarización de luz transmitida.....	35
<b>Figura 5</b> Esquema de la teoría de XFR. ....	39
<b>Figura 6</b> Características del amojonamiento con cemento.....	48
<b>Figura 7</b> Colocación de los puntos de control.....	48
<b>Figura 8</b> Mapeo geológico superficial.....	49
<b>Figura 9</b> Corte de la muestra con una sierra diamantada. ....	51
<b>Figura 10</b> Sierra diamantada más fina para realizar el corte y reducción de las muestras. ....	51
<b>Figura 11</b> Platina de calentamiento-enfriamiento tipo “Linkan TH – 600” montada sobre la platina de un microscopio polarizante marca Nikon. ....	53
<b>Figura 12</b> Alineación de los yacimientos de Kami, Chicote chico y grande. ....	56
<b>Figura 13</b> Valle fluvial en V, esta morfología se encuentra en la base del cerro Kami, conformado por el río Ayopaya.....	58
<b>Figura 14</b> Estratos tabulares de areniscas de la Fm. Amutara, ubicada al norte de la localidad de Kami.....	59
<b>Figura 15</b> Arenisca cuarzosa de la Fm. Amutara que presenta laminación paralela, buena selección y madurez.....	59
<b>Figura 16</b> Limolitas gris claras de la Fm. Amutara.....	60
<b>Figura 17</b> Limolita con láminas delgadas de arenisca cuarzosa gris blanquecino interestratificados.....	60
<b>Figura 18</b> Afloramiento de pizarras de grano fino. ....	61



<b>Figura 19</b>	Forma cónica del yacimiento Kami que sugiere la existencia de un intrusivo en profundidad. ....	64
<b>Figura 20</b>	Veta Arias y Veta San José aflorando en superficie. ....	64
<b>Figura 21</b>	Veta San José en el nivel Añatuyani. ....	65
<b>Figura 22</b>	Secciones delgadas. ....	66
<b>Figura 23</b>	Muestra de roca MRK - 110. ....	67
<b>Figura 24</b>	Microfotografías de la sección delgada de la muestra MRK – 110. ....	67
<b>Figura 25</b>	Muestra de roca MRK – 111. ....	68
<b>Figura 26</b>	Microfotografías de la muestra MRK – 111. ....	69
<b>Figura 27</b>	Microfotografías de la muestra MRK – 112. ....	71
<b>Figura 28</b>	Histograma de temperatura de homogenización para cada inclusión fluida. ....	74
<b>Figura 29</b>	Histograma de homogenización de las inclusiones primarias. ....	74
<b>Figura 30</b>	Histograma de homogenización de las inclusiones secundarias. ....	74
<b>Figura 31</b>	Microfotografía MVK – 120 y 129. ....	75
<b>Figura 32</b>	Fotografía de la muestra MVK – 120. ....	77
<b>Figura 33</b>	Fotografía de la muestra MVK – 121. ....	78
<b>Figura 34</b>	Fotografía de la muestra MVK – 122. ....	79
<b>Figura 35</b>	Fotografía de la muestra MVK – 123. ....	80
<b>Figura 36</b>	Fotografía de la muestra MVK – 124. ....	81
<b>Figura 37</b>	Fotografía de la muestra MVK – 125. ....	82
<b>Figura 38</b>	Fotografía de la muestra MVK – 126. ....	83
<b>Figura 39</b>	Fotografía de la muestra MVK – 127. ....	84
<b>Figura 40</b>	Fotografía de la muestra MVK – 128. ....	85
<b>Figura 41</b>	Fotografía de la muestra MVK – 131. ....	86
<b>Figura 42</b>	Secciones pulidas de la Veta San José. ....	87
<b>Figura 43</b>	Microfotografía sección pulida MVK - 120. ....	88
<b>Figura 44</b>	Microfotografía sección pulida MVK - 121. ....	90



<b>Figura 45</b>	Microfotografías de la sección pulida MVK - 122.....	92
<b>Figura 46</b>	Microfotografía de la sección pulida MVK - 123. ....	94
<b>Figura 47</b>	Microfotografías de la sección pulida MVK - 124.....	96
<b>Figura 48</b>	Microfotografías de la sección pulida MVK - 125. .....	98
<b>Figura 49</b>	Microfotografía de la sección pulida MVK - 126. ....	100
<b>Figura 50</b>	Microfotografías de la sección pulida MVK - 127.....	102
<b>Figura 51</b>	Microfotografías de la sección pulida MVK - 128. .....	104
<b>Figura 52</b>	FRX - fluorescencia de rayos X, (MVK - 129). .....	106
<b>Figura 53</b>	Registro de elementos ligeros incluyendo a Ca y Ti, obtenidas manualmente. .....	107
<b>Figura 54</b>	Fluorescencia de rayos X - FRX, (MVK - 130). .....	108
<b>Figura 55</b>	Registro de elementos ligeros incluyendo a Ca y Ti, obtenidas manualmente. .....	108
<b>Figura 56</b>	Secuencia paragenética propuesta para la veta San José. .....	110



## ACRÓNIMOS

%:	Porcentaje
Apy:	Arsenopirita
BM:	Bench Mark o banco de marca
Cal:	Calcedonia
Cm:	Centímetro
Cv:	Covelina
Cpy:	Calcopirita
Est:	Estannina
FRX:	Fluorescencia de rayos X
GEOBOL:	Servicio Geológico de Bolivia
Hidrox. Fe:	Hidróxido de fierro
IF:	Inclusiones fluidas
IGM:	Instituto Geográfico Militar
IGEMA:	Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente
Km:	Kilómetros
Mg:	Magnesio
M:	Metro
NII:	Nicoles paralelos



NXs:	Nicoles cruzados
Oam:	Ordovícico Amutara
Oan:	Ordovícico Anzaldo
Pi:	Pirrotita
Py:	Pirita
Qz:	Cuarzo
RN1:	Ruta nacional 1
RN4:	Ruta nacional 4
Sec:	Silúrico Cancañiri
Sd:	Siderita
Sch:	Scheelita
Sun:	Silúrico uncia
SERGEOMIN:	Servicio geológico minero
Sct:	Silúrico Catavi
Sn:	Estaño
Th:	Temperatura de homogenización
W:	Wolframita



## RESUMEN

La zona de estudio está ubicada en las concesiones que corresponden a la Corporación Minera de Bolivia – COMIBOL, a 70km hacia el NW del departamento de Cochabamba, en el cantón Icoya de la provincia de Ayopaya y a 170km al SE de la ciudad de La Paz. La zona de estudio se encuentra en la parte oriental de los andes centrales de Bolivia, y es uno de los principales productores de tungsteno de Bolivia, el poco conocimiento sobre la geología de la mina Kami y la falta de información sobre las fases minerales de la veta San José, llevó como objetivo caracterizar la geología y mineralogía para poder definir la paragénesis de la veta antes mencionada. La metodología de la investigación consistió en un cartografiado geológico local del yacimiento Kami, seguido por un mapeo geológico subterráneo sobre el plano topográfico de los niveles donde se está desarrollando la veta San José, paralelamente se obtuvo las muestras para los análisis minerográficos, petrográficos, inclusiones fluidas y de fluorescencia de rayos X, posterior a ellos se continuó con la preparación de 8 secciones pulidas, 3 secciones delgas y 2 secciones doblemente pulidas en las instalaciones del IGEMA. Seguido de la caracterización minerográfica, petrográfica y análisis microtermométrico, finalizando con a la interpretación de resultados. De acuerdo a la caracterización geológica se logró identificar que las estructuras mineralizadas presentan 2 sistemas preferenciales, el primer sistema discurre con una dirección de N25-30E y un segundo sistema que presenta una orientación de N45-50E emplazadas sobre rocas ordovícicas metamorfizadas, el área mineralizada supera los 2.5 Km<sup>2</sup>, los análisis del cuarzo hidrotermal sugieren que la veta San José se habría formado con temperaturas de homogenización de (Th) que van de 401 y 450 °C el cual corresponde a un yacimiento hipotermal y de acuerdo a la caracterización minerográfica se definió que la veta San José presenta 3 fases de mineralización: la fase temprana o fase mineralizante se caracteriza por la presencia de arsenopirita + pirrotina + wolframita + schelita; la fase intermedia está definido por la asociación de cuarzo1 + pirita + estannina + calcopirita y la fase tardía caracterizado por calcedonia + cuarzo2 + siderita.

**Palabras claves:** Características geológicas, Paragénesis, Secciones pulidas, Tungsteno.



## ABSTRACT

The study area is located in the concessions that correspond to the Bolivian Mining Corporation – COMIBOL, 70km to the NW of the department of Cochabamba, in the Icoya canton of the province of Ayopaya and 170km SE of the city of La Paz. The study area is located in the eastern part of the central Andes of Bolivia, and is one of the main producers of tungsten in Bolivia, the little knowledge about the geology of the Kami mine and the lack of information about the mineral phases of the San José vein, the objective was to characterize the geology and mineralogy in order to define the paragenesis of the aforementioned vein. The research methodology consisted of local geological mapping of the Kami deposit, followed by underground geological mapping on the topographic plane of the levels where the San José vein is being developed. At the same time, samples were obtained for mineragraphic, petrographic, and inclusion analyses. fluid and Followed by mineragraphic, petrographic characterization and microthermometric analysis, ending with the interpretation of results. According to the geological characterization, it was possible to identify that the mineralized structures present 2 preferential systems, the first system runs with a direction of N25-30E and a second system that presents an orientation of N45-50E located on metamorphosed Ordovician rocks, the mineralized area exceeds 2.5 km<sup>2</sup>, the analyzes of the hydrothermal quartz suggest that the San José vein would have been formed with homogenization temperatures of (Th) ranging from 401 and 450 °C, which corresponds to a hypothermal deposit and according to the mineragraphic characterization, defined that the San José vein presents 3 phases of mineralization: the early phase or mineralizing phase is characterized by the presence of arsenopyrite + pyrrhotite + wolframite + schelite; The intermediate phase is defined by the association of quartz<sub>1</sub> + pyrite + stannine + chalcopyrite and the late phase characterized by chalcedony + quartz<sub>2</sub> + siderite.

**Keywords:** Geological characteristics, Paragenesis, Polished sections, Tungsten.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tungsteno o wolframio es un elemento que se encuentra de manera escasa en diferentes países entre ellas Bolivia, y sus minerales de mena generalmente se presenta como wolframita y/o scheelita pero no se ha podido encontrar de manera pura, siendo de gran importancia en la metalurgia, minería e industrias de petróleo, como conductores de electricidad, filamentos de bombillas, tubos de rayos X como catalizadores para acelerar la velocidad de reacciones químicas, como electrodos para soldar, discos de giroscopios entre otros, la dureza y flexibilidad que resisten al desgaste fabricándose con ello discos para pulir, cortar o dar forma a metales debido a que a que posee un peso 3 veces mayor que el hierro y según la escala de dureza de Mohs es de 8.5 a 9.0 además presenta mayor rigidez y densidad que el acero, (ATSDR, 2016; Mundo, 2014; PHS | ATSDR, 2016; Telos World, 2021; Tungco, 2017).

En la actualidad este mineral se encuentra en una creciente demanda a nivel internacional, tras la decisión de China de disminuir su producción en un 50%, debido a esto ha habido un considerable aumento en la cotizaciones, conociéndose como uno de los productos mineros del futuro junto al estaño, aumentando la capacidad de soportar el calor siendo casi imprescindible para la industria automovilística y la fusión nuclear segura a largo plazo por su resistencia natural y teniendo uno de sus puntos de fusión más altos de todos los metales (El Diario, 2017; Xie et al., 2022).

La veta San José tiene escasa información geológica pre - post mineralización, actualmente se desconoce la secuencia paragenética como sus asociaciones con otros



minerales, las cuales son de mucho interés para orientar y proyectar la exploración y explotación en el yacimiento; igualmente, mediante los estudios en secciones pulidas de las muestras provenientes de la veta de interés y el mapeo geológico subterráneo y superficial se podrá generar nuevos criterios y controles de búsqueda de las zonas mineralizadas. Además, una adecuada explotación y planificación minera posibilitará un mayor ingreso económico a la cooperativa minera.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿La caracterización geológica definirá la paragénesis de la veta San José del yacimiento Kami, Cochabamba – Bolivia?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características geológicas del yacimiento Kami?
- ¿Cómo se define la secuencia paragenética de la veta San José del yacimiento Kami?

## **1.3 HIPÓTESIS DE ESTUDIO**

### **1.3.1 Hipótesis general**

La caracterización geológica define la paragénesis de la veta San José del yacimiento Kami, Cochabamba – Bolivia.

### **1.3.2 Hipótesis Especificas**

- La caracterización geológica del yacimiento Kami define el comportamiento y la génesis del yacimiento.



- Con la caracterización geológica se define la secuencia paragenética de la veta San José del yacimiento Kami.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Caracterizar la geología para definir la paragénesis de la veta San José del yacimiento Kami, Cochabamba - Bolivia.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la geología del yacimiento Kami.
- Definir la secuencia paragenética de la veta San José del yacimiento Kami.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La secuencia paragenética registra la evolución de los fluidos, por ello es de suma importancia definir un modelo paragenético, correlación cronológica e influencia de los fluidos en la mineralización de la veta San José, aportando al conocimiento científico en base a nuevos datos petrográficos y mineralógicos, los estudios macroscópicos y en secciones pulidas de muestras tomadas en la veta nos proporcionarán información sobre las asociaciones mineralógicas de la veta San José.

La información de las características geológicas y paragénesis, será útil para tomar decisiones a corto, mediano y largo plazo así poder resolver problemas de exploración en nuevos frentes, contar con nuevas ideas y criterios geológicos y estructurales en exploración, por tanto, permitirá el mejoramiento de la recuperación de los minerales metálicos de interés y la planificación minera.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las actividades mineras en la zona de estudio comienzan a inicios del siglo XX, perteneció a la Empresa Minera Kami y se ha producido hasta 20 toneladas de wolframita, poseía una planta de beneficio gravimétrica (mesas concentradoras) en Santa Rosa, en el año 1912 fue adquirida por el Grupo Patiño. Explotaba Tungsteno y Manganeso, ambas materias primas fueron muy importantes durante la primera Guerra Mundial, ya que una de sus propiedades es aumentar la dureza del acero. En el año 1952 se creó la COMIBOL – Corporación Minera de Bolivia mediante Decreto Supremo y nacionalizándose en Octubre del mismo año, pasando a manos del Estado todas las minas que pertenecían a Empresas Privadas entre ellas la Empresa Minera Kami teniendo como objeto centralizar toda la administración de las minas sujetas al proceso de reversión al estado, un total de 22 empresas fueron nacionalizadas con la finalidad de explorar, explotar, procesar, refinar y comercializar las materias primas minerales con ello determinando cualitativamente y cuantitativamente el potencial de las reservas.

En el año de 1964, los personeros de COMIBOL e interventores militares realizaron nueva afiliación a socios de la Cooperativa Minera “Kami” Ltda., incorporando además a los trabajadores retirados por la Empresa Minera, argumentando despolitizar la Cooperativa para darle progreso, por eso la denominaron Cooperativa Minera “El Progreso de Kami” Ltda., y en solo dos meses tramitaron nueva Personería Jurídica con Res. N° 415 Registro N° 392 el 02 de septiembre de 1965, conocida hasta nuestros días.



Park & Hee In (2013), realizaron un estudio para determinar la paragénesis y origen de los depósitos de tungsteno-molibdeno de Dongbo-Korea, de acuerdo al estudio de inclusiones fluidas indican que hay unas tendencias altamente sistemáticas de temperatura y salinidad en toda la mineralización, también sugieren en base a los estudios de campo, mineralógicos e inclusiones fluidas la secuencia paragenética de los depósitos que consiste en 4 etapas, por último mencionan que los depósitos de tungsteno en la zona de Kyeongsang mantienen una estrecha similitud de temperatura deposicional y salinidad de los fluidos mineralizantes.

Morishita & Nishio (2021), Efectuaron un estudio con el objetivo de definir la génesis del depósito de tungsteno Takatori, a partir de la evidencia química e isotópica, mencionan que las vetas hipotermales de estaño, tungsteno y cuarzo del depósito son de origen hidrotermal magmático relacionado a un magma granítico de la misma forma indican que las vetas de wolframita muestran texturas de reemplazo con respecto al manganeso y hierro, así mismo en base a las observaciones de campo y la consideración de Ikeda et al. (1983) y Masukawa et al.(2013), definen la secuencia paragenética en 3 etapas: la primera de wolframita-cuarzo, la segunda de sulfuro-cuarzo y casiterita-cuarzo y la tercera etapa de cuarzo estéril con solo pirita.

Kelly & Turbneure (1970), efectuaron un estudio de 53 yacimientos, con el objetivo de evaluar la temperatura como un factor en la zonificación y su paragénesis, a partir de 225 muestras de varios tipos de minerales, pero principalmente de estaño y tungsteno, proponen una paragénesis similar para los depósitos de estaño y tungsteno bolivianos que consiste en: 1.- una etapa temprana se depositó la mayor parte del estaño y el tungsteno, 2.- etapa de sulfuros, 3.- alteración hipógena de pirrotina a pirita,



marcasita y siderita y 4.- vetillas de siderita. Así mismo indican que las temperaturas de los fluidos oscilan entre 300° a 400°C en los depósitos de tungsteno bolivianos.

Ahlfeld (1942), efectuó un estudio del depósito de chicote que se encuentra aledaño a la mina Kami y menciona que los yacimientos de tungsteno que se emplazaron en la cordillera central de Bolivia están asociados a rocas intrusivas de magmas graníticos y cuarzo monzonítico, la mineralización del depósito de Chicote es de tipo hipotermal, concluye mencionando que las vetas de wolframita se formaron a altas temperaturas y presiones. Resalta la abundancia de la pirrotita y otros sulfuros.

Thorn (1988), realizó un estudio de los elementos traza en rock chip de las rocas sedimentarias hospedantes de los yacimientos de Chicote y Kami. En sus resultados mostró patrones de dispersión anómalos centrados en las zonas de alteración y las zonas anómalas de estaño forman una anomalía continua que une los 2 yacimientos por ello sugiere que los 2 depósitos tendrían un mismo origen. Así mismo menciona que el depósito de tungsteno Chicote está asociado a una intrusión plutónica félsica.

Martínez (1973), De acuerdo a sus observaciones realizadas en el yacimiento de tungsteno Kami afirma que la mineralización en la zona de wólfam profundiza por debajo del nivel Patiño e indica que las condiciones físico químicas de las distintas vetas presentes en el yacimiento son las mismas.

## **2.2 PROPIEDADES DEL TUNGSTENO**

El tungsteno de símbolo W, número atómico 74 y peso atómico 183.85 y tiene el punto de fusión más alto de todos los metales. Gracias a sus excelentes propiedades térmicas, el wolframio puede soportar altas temperaturas sin problemas. El tungsteno también destaca por su densidad relativamente alta, por lo que se utiliza de diversas

formas en ámbitos como la industria aeroespacial, la ingeniería eléctrica y la electrónica (Wolfram: *Eigenschaften & Verwendung* / Plansee, n.d.).

El Tungsteno en su estado puro es de un color blanco brillante, con un hábito cúbico. Estable a temperatura ambiente.

### 2.2.1 Formas en que se presenta

El tungsteno no se presenta en la naturaleza como un metal puro, si no como minerales de éste. Dichos minerales principalmente se dividen en 2 tipos, llamados wolframita y scheelita.

La Wolframita es un mineral con composición química  $(Fe^{2+})WO_4$ . Es un óxido metálico monoclinico cuyo componente principal es el tungsteno, con peso específico de 7 a 7.5.

#### Tabla 1.

*Propiedades físicas de la wolframita.*

Propiedades físicas	
Color	Negro.
Raya	Negra pardusca.
Brillo	Metálico o resinoso.
Dureza	4 a 4.5
Densidad	7 a 7.5 g/cm <sup>3</sup>

**Fuente:** (Wolframita, n.d.)

La Scheelita es un wolframato de calcio  $CaWO_4$  y es otra mena importante de wolframio, presenta un peso específico de 6, y tiene la propiedad de ser fluorescente a la luz ultravioleta de onda corta.

**Tabla 2.**

*Propiedades físicas de la Scheelita.*

Propiedades físicas	
Color	Blanco amarillento.
Raya	Blanca.
Brillo	Vítreo o adamantino.
Dureza	4.5 a 5
Densidad	5.9 a 6.9 g/cm <sup>3</sup>

**Fuente:** (Scheelita, n.d.)

Los depósitos de tungsteno presentan una estrecha relación las intrusiones ígneas, presentándose generalmente la wolframita en vetas de cuarzo y con menor frecuencia la Scheelita.

### 2.2.2 Asociación paragenética

La asociación paragenética generalmente en los yacimientos de tungsteno empieza con una fase de óxidos (casiterita, wolframita), seguido por una fase de sulfuros como la calcopirita, pirita, pirrotina, arsenopirita y una fase tardía caracterizada por siderita y óxidos de hierro (Segal & Crosta, 2013).

## 2.3 PARAGENESIS

Es la secuencia de formación mineral asociada en rocas o referida a la “formación secuencial de minerales” (Craig & Vaughan, 1994).

Para realizar un estudio que determine la secuencia paragenética, no existe un método estándar, sin embargo se empieza por la selección y preparación de muestras (Craig & Vaughan, 1994).



## 2.4 MINERAGRAFIA

El examen visual de los minerales utilizando una lupa o un microscopio binocular puede proporcionar una información valiosa sobre los minerales presentes y su textura, la microscopía de luz reflejada es la técnica más útil para un estudio mineragráfico y petrográfico de minerales, para ello una superficie bien pulida es esencial para una buena petrografía (Iyer & Duller, 2015)

Consiste en el estudio e investigación de los minerales metálicos, mediante el cual se puede identificar los minerales opacos, el tamaño de los minerales presentes, la textura y secuencia paragenética (INGENIEROS, 2024).

Consta de la descripción microscópica y añadiendo fotomicrografías (Ingemmet, 2023a).

### 2.4.1 Secciones pulidas

Una muestra de roca o mineral que ha sido altamente pulido para su análisis mediante técnicas de luz reflejada, mediante el cual se analizan los minerales opacos con la finalidad de determinar la paragénesis y composición de la muestra (Ingemmet, 2023b; Mindat.org & Mineralogía, 2024; Minerlab, 2022).

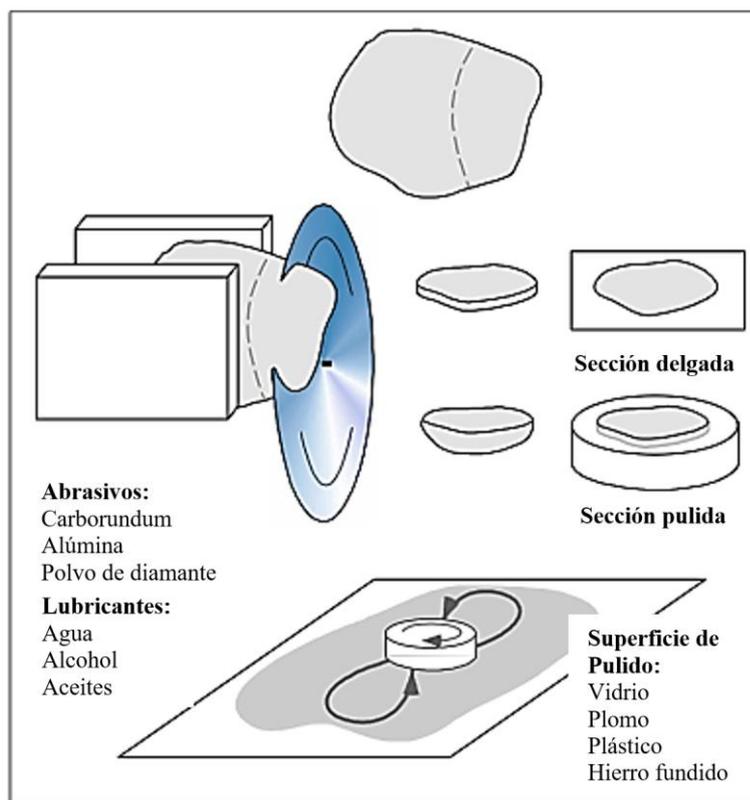
#### - Procedimiento para elaboración de secciones pulidas

1. Se adquiere la muestra del afloramiento que se desea efectuar el estudio mineragráficos, luego se marca con un círculo el área de interés de la muestra.
2. Luego se realiza el corte de la muestra, con una cortadora de disco adiamantado.
3. Posteriormente se desbasta una de las caras, utilizando polvo de carburo de silicio.

4. En el lado pulido se pega el portaobjeto, utilizando resina (epoxy) y haciendo presión para que no queden burbujas.
5. Después se coloca sobre una plancha caliente unos minutos, una vez pegados los tacos ya estarán preparados para trozar.
6. Antes de cortar el taco marcaremos con un lápiz de diamante, el área de interés de la muestra.
7. Finalmente se realiza el corte del taco con la cortadora, sacando una lámina de 7mm de espesor (NEIL S. T., 2016)

### Figura 1

*Procedimiento para la preparación de una muestra en sección pulida.*



*Fuente:* (Chirif, 2010).

#### 2.4.2 Cuidado e instalación de secciones pulidas

Las secciones pulidas, por tratarse de preparados descubiertos, sufren con relativa facilidad cambios químicos (oxidación) o físicos (rayado), por este motivo



se debe tener un especial cuidado en el mantenimiento. Para su limpieza debe utilizarse papel kleenex seco o humedecido en tolueno, en xileno o en alcohol. Una muestra oxidada o muy rayada debe ser nuevamente pulida, para lo cual se emplearán suspensiones de alúmina de granulometría adecuada al rayado o al grado de oxidación (Chirif, 2010).

Previamente a la instalación de la muestra sobre la platina, debe colocarse ésta sobre una porta muestra con plastilina y presionar el conjunto con una prensa bien centrada, de esta manera, la superficie pulida quedará dispuesta paralelamente a la superficie de la platina (Chirif, 2010).

#### - **Observación con líquidos de inmersión**

Las observaciones con líquidos de inmersión permiten obtener imágenes más nítidas y mejores contrastes entre minerales, pero notaremos también ciertos cambios en las propiedades de éstos (Crespo, 2022a).

- Veremos el color diferente al observado en seco.
- La reflectancia será menor.
- La Birreflectancia, pleocroísmo y anisotropía mayores.
- Las reflexiones internas se verán más intensas (Chirif, 2010).

En las tablas determinativas se consideran estos cambios y se tienen consignadas las propiedades vistas en seco y vistas con líquidos de inmersión. Después de haber elegido el grano a estudiar, se debe bajar la platina, sin mover la muestra, se debe colocar el objetivo de inmersión y una gota de aceite de inmersión sobre el grano; luego, se sube la platina hasta que la gota entre en contacto con el objetivo, y finalmente se enfoca observando a través del ocular.



Los objetivos de inmersión se reconocen porque tienen una línea negra y la palabra aceite (Oil, Öl) impresa en el tambor (Riley, 2008).

Al terminar se debe limpiar cuidadosamente el objetivo y la muestra con papel kleenex humedecido en tolueno o xileno. Para la muestra, más no para el objetivo, se puede emplear también alcohol (Chirif, 2010).

### **2.4.3 Problemas de pulido**

1. Algunos minerales son difíciles de pulir debido a su dureza como el caso de la magnetita. En otros casos se pueden producir manchas que aparecen en minerales muy blandos con una estructura en forma de capas, como la molibdenita (Ixer & Duller, 2015).
2. El pulido excesivo puede provocar gruñido alterando el color de la superficie y la reflectancia de minerales de colores intensos al reducir el color y aumentar la reflectancia. La calcopirita se pule hasta obtener un color amarillo pálido más característico de la pirita; La magnetita y la ilmenita se pulen para obtener colores que recuerdan más a la hematita. Con los minerales de colores menos intensos, el efecto está presente, sin embargo, es menos marcado (Ixer & Duller, 2015).
3. La presencia de materiales extraños también puede causar problemas. Estos pueden introducirse en todas las etapas de la preparación de la muestra (Ixer & Duller, 2015).

### **2.4.4 Características ópticas de los minerales**

Los minerales presentan distintas características bajo el microscopio:

#### **2.4.4.1 Propiedades observadas con nicoles paralelos**

Es la posición donde no está el insertado analizador.



#### **2.4.4.2 Color:**

Es el color de la superficie pulida de un mineral observado con luz reflejada (Chirif, 2010).

#### **2.4.4.3 Reflectancia**

Es la capacidad del mineral para reflejar la luz (relación entre la intensidad de la luz reflejada y la de la luz incidente, expresada en porcentaje (Chirif, 2010).

#### **2.4.4.4 Birreflectancia**

Es el cambio en intensidad de la luz reflejada en un mineral cuando se gira la platina del microscopio minerográfico.

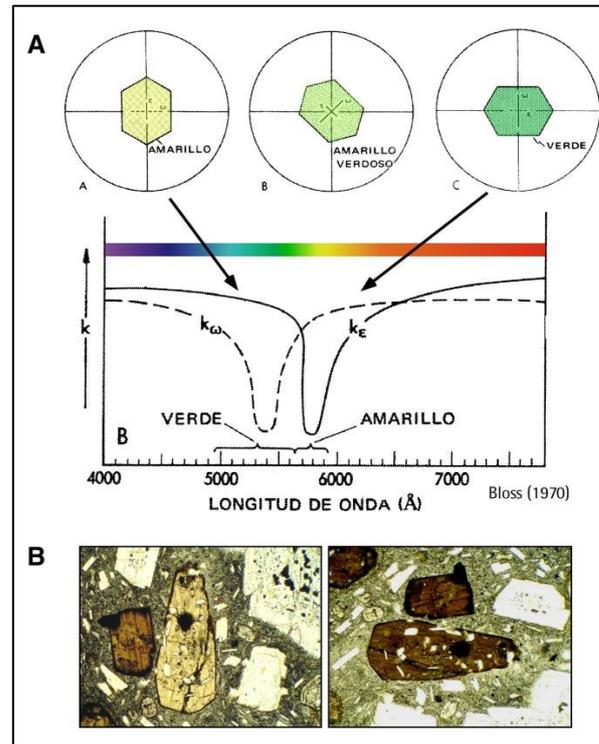
Es la variación en la reflectividad de un mineral según su orientación.

#### **2.4.4.5 Pleocroísmo**

Un mineral puede variar la forma de absorber las diferentes longitudes de onda (y por lo tanto su color) en función de su orientación respecto al plano de polarización de la luz incidente. En estos casos, al girar la platina del microscopio observamos una variación de color que se denomina pleocroísmo (Crespo, 2022b).

## Figura 2

Variación de absorción de las diferentes longitudes de onda, en un mineral pleocroico.



Fuente: (*Color y Pleocroísmo*, n.d.).

### 2.4.5 Propiedades observadas en nicols cruzados

Es la posición donde si existe el insertado del analizador.

#### 2.4.5.1 Anisotropía

Es la capacidad de algunos minerales en dejar pasar luz (Chirif, 2010).

**Tabla 3.**

*Ejemplos de minerales anisotrópicos*

<b>Mineral</b>	<b>Anisotropía</b>
Covelina, marcasita, molibdenita	Muy Fuerte
Jamesonita, enargita, pirrotita	Fuerte
Arsenopirita, hematita, ilmenita	Media
Bornita, calcopirita	Débil
Calcosina, wurtzita, wolframita	Muy Débil

#### **2.4.5.2 Reflexiones internas**

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

Las reflexiones internas se observan con nicoles cruzados. Se diferencia de la anisotropía en que no varía cada 90° (extinción) y en que su intensidad es menor (Chirif, 2010).

**Tabla 4.**

*Ejemplos de minerales con reflexiones internas.*

<b>Mineral</b>	<b>Reflexiones Internas</b>
Malaquita	Verde intenso
Azurita	Azul a azul oscuro
Oropimente	Amarillo
Escalerita	Amarillo claro hasta pardo rojo
Casiterita	Amarillo, ámbar, algunas veces parduzco
Limonita	Amarillo pardo hasta rojo pardo oscuro
Cinabrio	Rojo bermellón
Wolframita, hematina	Rojo oscuro

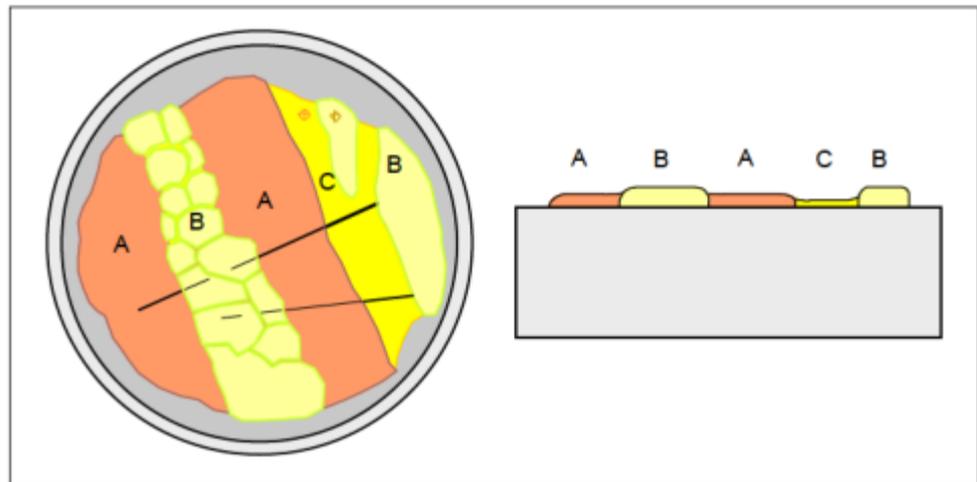
**Fuente:** (Chirif, 2010)

### 2.4.5.3 Dureza relativa

La dureza relativa es una estimación cualitativa que realizamos comparando el efecto de pulido con diferentes minerales que ofrecen diferente desgaste. Los minerales más duros proporcionan mayor relieve que los minerales menos duros. Al desenfocar el contacto, aumentando ligeramente la distancia entre el objetivo y la muestra, vemos una tenue línea brillante conocida como línea de Kalb que se mueve hacia el mineral menos duro. Es importante señalar que esto se debe a la diferencia en el relieve superficial de la muestra y es una característica completamente diferente al relieve y la línea de Becke (Chirif, 2010).

### Figura 3

*Dureza relativa de los minerales.*



**Fuente:** (Chirif, 2010).

Al lado derecho de la figura en sección transversal con la escala vertical exagerada, el relieve de los minerales de mayor resistencia a la abrasión resalta el relieve de los minerales menos duros (Chirif, 2010).



#### **2.4.6 Inclusiones o diseminaciones**

Son rasgos expuestos después de la sección pulida, de tamaño pequeño donde aparece en el interior de otro mineral posteriormente formado, pudiendo ser numerosas siendo orientadas en direcciones concretas del mineral suficientemente para identificarlas, los orígenes son diferentes, líquidas con burbujas de gas, sólidas que se encuentran dentro de otros minerales.

#### **2.4.7 Intercrecimientos o amarres**

Es la forma de ordenación entrelazada de dos minerales, mayormente a la cristalización simultánea de las fases o desmezcla de estas (Glosarios, 2023). Pueden ser diferentes según las texturas.

- a) Textura Simplectítica: Son intercrecimientos de dos minerales en forma vermiculares, como también se asocia a reacciones con presencia de fundidos residuales (U.C.M., 2013).
- b) Textura mirmequítica: Es el crecimiento simplectítico entre cuarzo y plagioclasa (alto en Na), mayormente se produce en rocas donde la plagioclasa está en contacto feldespató potásico (U.C.M., 2013).
- c) Textura gráfica o pegmatítica: Se crea de la cristalización simultánea de cuarzo y feldespató potásico englobando varios cristales cuneiformes de cuarzo, frecuente en granitos o rocas plutónicas. Es típica de segregados de grano muy grueso, con peculiares condiciones de cristalización con una alta tasa de crecimiento, según la escala esta textura puede variar enormemente, desde la perspectiva microscópica como macroscópica (U.C.M., 2013).
- d) Textura aplopegmatítica: Son granitos heterogéneos, aplítica y pegmatítica, ambas se desarrollan en residuos fundidos, composiciones eutécticas

favoreciendo un crecimiento rápido en cristales de tamaño grueso, mientras que la textura aplítica la pérdida de volátiles baja la tasa de crecimiento dando lugar a la textura panalotriomorfa o grano fino, ambas texturas dan un aspecto diferente a la roca por la coexistencia de grandes cristales, o sectores irregulares de grano fino (U.C.M., 2013).

## 2.5 PETROGRAFÍA

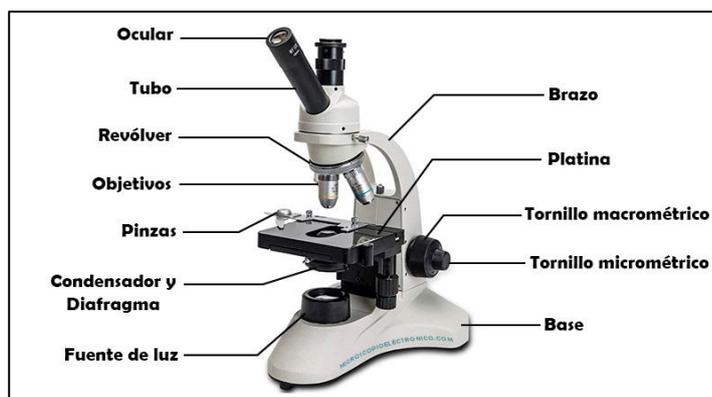
### 2.5.1 Microscopio petrográfico

Es una herramienta que permite la visualización de objetos pequeños, consta de dos lentes convergentes, cuyo objetivo es también llamado polarizador ya que requiere de luz reflejada para iluminar la sección pulida de manera vertical hacia abajo, utilizado en la geología para determinar las propiedades ópticas, identificar minerales, estudio de texturas y clasificación de rocas y minerales (Crespo, 2022c; Rafino, 2019).

### 2.5.2 Partes del microscopio

#### Figura 4

*Microscopio de polarización de luz transmitida*



*Fuente:* (Mundo Microscopio, 2000).



### 2.5.2.1 Partes mecánicas:

- a) Brazo y base: Su función se basa en soportar el microscopio.
- b) Tubo del microscopio: Metal recto que separa el ocular y objetivo, es parte del cuerpo.
- c) Platina giratoria Graduada: Es una superficie plana de platina y nos da grados de rotación puede ser leído en minutos.
- d) Revolver portaobjetos: Es un disco a manera de revolver en el cual van insertados los distintos objetivos.
- e) Tornillo macrométrico y micrométrico(enfoque): Es un tornillo giratorio cuya función es acercar o alejar el objetivo que se encuentra en la platina.
- f) El reflector: Es una placa de vidrio en el centro por el cual dirige la luz llevándola de manera vertical hacia la sección pulida.
- g) El iluminador: Es una fuente de luz con intensidad necesaria que proviene de una lámpara, pasando por el polarizador, dirigiéndose hacia un espejo, traspasando la sección pulida pasando hasta el ocular y tiene ajuste y alineaciones para ayudar conseguir la mejor iluminación uniforme.
- h) Transformador para la lámpara de luz: Es un botón para encender la luz, como también para cambiar las intensidades de luz, que varían desde 12 V a 100 Watts.



### 2.5.2.2 Partes ópticas

- a) Nicoles: Son los que permiten vibrar la luz en una sola dirección, llamada también luz polarizada plana, la cual es necesaria para los estudios al microscopio. Los nicoles son dos:
- Analizador: Es un polarizador que se encuentra insertado entre el ocular y el objetivo.
  - Polarizador: Es un polarizador que se encuentra ubicado entre la lámpara o fuente de luz y los lentes objetivos. El polarizador está preparado para ser usado en combinación con el analizador.
- b) Diafragma de campo: Sirve para controlar el tamaño del campo a ser usado y para ajustar la posición de la lámpara con propósitos de alineamiento.
- c) El Diafragma de abertura: Sirve para reducir la abertura del cono de iluminación eliminando rayos marginales que tienden a velar la imagen. Su mayor función es la de incrementar el contraste natural a través de la formación de halos de refracción.
- d) Lentes objetivos: El principal componente de un microscopio es el objetivo, el cual actúa con el ocular para completar las funciones básicas del microscopio, aumento y resolución. Un lente objetivo produce una imagen real e invertida del objeto. Los objetivos del microscopio producen una imagen aumentada de un objeto ubicado sobre la platina del microscopio. El aumento es una de las dos principales funciones del objetivo. Este puede variar de 2X a 125X. La resolución es la segunda de las funciones principales de un



objetivo. El poder de resolución del objetivo es su habilidad para poder revelar el detalle más fino.

- e) El ocular: Es un lente que toma una imagen producida por el objetivo como objeto y logra una imagen virtual, derecha y mayor con respecto a la inicial. Es removible y se encuentra en el tope del tubo del microscopio. El conjunto consiste de dos lentes planoconvexo. El lente superior pequeño es llamado lentes de ojo y el lente interior grande lente de campo. La magnificación del ocular es usualmente marcada sobre la superficie del metal y varía de 2x a 20x. El ocular presenta pelos formando una cruz denominada cruz filiar que gira paralela a los planos de vibración de los nicoles en sus diferentes posiciones de rotación (NEIL S. T., 2016).

## **2.6 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XFR)**

Es un método de análisis cuantitativo utilizado con frecuencia para determinar la composición química de muestras de rocas, sedimentos y otros materiales terrestres, a partir de su radiación característica (Subandina, 2022).

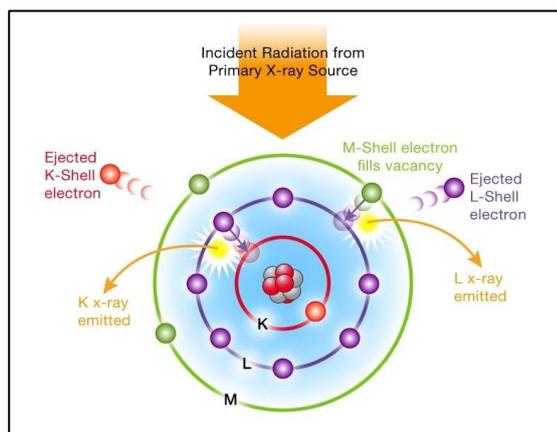
### **2.6.1 Principio de la Fluorescencia de rayos X**

La espectrometría XFR se basa en el principio de dispersión de longitud de onda, que establece que la energía de fluorescencia y los espectros de longitud de onda emitidos son característicos de átomos de elementos específicos, lo que nos permite estimar sus abundancias (Subandina, 2022; Weltje & Tjallingii, 2008).

En XFR, la muestra se bombardea con un haz de rayos X de alta energía, lo que hace que los átomos que la componen se ionicen y un electrón se separe de la capa interna. Como resultado, el hueco del electrón en la capa interna se llena con un electrón de la capa externa acompañado de la liberación de energía en forma de fotón. La radiación emitida tiene una energía menor que la radiación absorbida y se denomina "fluorescencia". La radiación emitida refleja la diferencia de energía entre las dos capas involucradas. Como estas transiciones ocurren en energías discretas específicas para un elemento en particular y su entorno local. Por lo tanto, el análisis XRF puede determinar la composición elemental/química de una muestra, pero no los compuestos sólidos como la difracción de rayos X (XRD).

### Figura 5

*Esquema de la teoría de XFR.*



*Fuente:* (Symtek, 2020).

## 2.7 INCLUSIONES FLUIDAS (IF)

Las inclusiones fluidas, son consideradas como verdaderas cápsulas de tiempo, puesto que almacenan información valiosa, sobre la temperatura, presión y composición de los fluidos que atraparon (Reynolds, 1994; Yáñez Pezzopane, 2022).



Información que se obtiene de las inclusiones fluidas:

### **2.7.1 Temperatura**

IF son utilizadas para estimar la temperatura de formación de minerales con diversos grados de precisión según el tipo de IF presente en la muestra. Los datos obtenidos proporcionan información sobre la temperatura mínima de formación del mineral. Esta aplicación reside en apreciar la contracción diferencial por enfriamiento natural del mineral hospedante y del fluido desde la temperatura de entrapamiento ( $T_e$ ) hasta aquella temperatura de observación (temperatura ambiente). Durante este proceso, el fluido se contrae más que el mineral hospedante, creando burbujas en el fluido. Luego se debe invertir el proceso calentando la muestra hasta que desaparezcan las burbujas (el líquido se vuelve homogéneo). Esta temperatura se denomina temperatura de homogeneización ( $T_h$ ). En este punto, se obtiene la temperatura a la que apareció la burbuja por primera vez en su historia geológica. La temperatura medida puede variar entre temperaturas superiores a  $1.000^\circ$  y temperaturas ambiente, o incluso inferiores (Korzeniewski, 2002)

### **2.7.2 Presión**

El estudio de IF proporciona información sobre la presión del sistema en el momento del entrapamiento. Se utilizan diversos procedimientos basados en datos experimentales sobre las propiedades termodinámicas de fluidos similares, y en general proporcionan información sobre la presión mínima para la formación de la inclusión. Se entiende que la presión determinada a partir de la IF representa presión litostática o hidrostática del sistema. La presión local en el momento del



entrapamiento se considera hidrostática porque es presión de fluido (Korzeniewski, 2002).

### **2.7.3 Densidad y Composición**

Una de las aplicaciones comunes del estudio de IF es la determinación de la salinidad de los fluidos acuosos responsables de la precipitación mineral.

En general en las IF se encuentran líquidos de baja viscosidad y una burbuja de gas o vapor. En la mayoría de los casos el líquido es una solución acuosa con menos del 10% en peso de solutos, aunque dichas concentraciones pueden variar entre 50% y prácticamente 0%. Los solutos consisten principalmente en Na, Cl, K, Ca, Mg, y S<sub>04</sub> y en menor proporción otros iones. La presencia de CO<sub>2</sub> y C~ líquidos o gaseosos es común y en algunos ambientes pueden ser los más abundantes (Korzeniewski, 2002)

## **2.8 GEOLOGIA REGIONAL**

La base para describir la geología regional del área de estudio, se ha obtenido de las cartas geológicas de Bolivia, de la hoja de Tapacarí, N° 6241 y la hoja Independencia, N° 6242 a escala 1: 100 000; ejecutado por Servicio Geológico de Bolivia – GEOBOL, en el año 1993.

La zona de estudio regionalmente está localizada en el flanco W de la cordillera oriental en su parte central, donde afloran sedimentitas del Paleozoico desarrolladas en ámbitos de trasarco y/o antepaís; las del Mesozoico pertenecen a ámbitos alternativos de trasarco, antepaís y retroarco. La depositación Paleógena tuvo lugar en un ámbito interno de antepaís.



Las rocas que afloran en la región son de origen sedimentario que corresponden a las secuencias del Paleozoico y Cenozoico, que están fuertemente plegadas y metamorfizadas.

- **Cámbrico superior – Ordovícico superior**

**2.8.1 Formación Anzaldo - (Oan)**

Esta formación es la más expuesta del Ordovícico y se observa al Este del área de estudio, litológicamente está conformada por 5 miembros: a) Miembro 1: Compuesto por limolitas de color amarillo verdoso, localmente gris oscuro, duras y muy micáceas, en bancos delgados de espesor variable. Estas rocas son fosilíferas, b) Miembro dos: Lutitas gris verdosas, estratificadas en bancos de 30 cm, friables, con intercalaciones frecuentes de bancos delgados de limolitas gris verdosas. Tiene abundantes fósiles, Espesor del miembro 150 metros, e) Miembro tres: Es el más grueso. constituido por lutitas monótonas de color amarillo verdoso a marrón amarillento, ligeramente micáceas, estratificadas en bancos de 5 cm a un metro. Intercalan algunas areniscas en bancos hasta de 150 metros, verdes. de grano fino, Tiene 1.225 metros de espesor. d) Miembro cuatro: Lutitas de color gris oscuro en superficie fresca y gris claro en superficie meteorizada, algo micácea, friable, estratificada en bancos delgados. Hay algo de limolitas duras en el miembro. Por su litología y contenido paleontológico este miembro se asemeja al dos. Tiene 120 metros de espesor. e) Miembro cinco: Alternancia de limolitas y areniscas cuarcíticas. El miembro tiene un espesor de 250 metros (Suarez & Diaz, 1996).



### **2.8.2 Formación Amutara - (Oam)**

Esta unidad litológicamente está conformada por areniscas cuarcíticas y areniscas, gris claras intercaladas con lutitas y limolitas. El afloramiento de las lutitas se presenta en menor extensión a comparación con la secuencia arenosa, el material arenoso está dada como bancos de areniscas puras de carácter casi cuarcítico llegando hasta espesores de 1 metro. (Voges, 1962) Las areniscas cuarcíticas presentan una geometría lenticular y preferentemente irregular.(Fricke et al, 1963)(Suarez & Diaz, 1996)

La Formación Amutara es equivalente de la Formación Sandía del sur de Perú; presenta unos 3000m de principalmente areniscas y cuarcitas en el oeste, con intercalaciones de conglomerados hacia el tope, que contienen clastos del basamento cristalino; de espesores que varían de 1000 a 1500m hacia el este, manifestando una transición hacia arriba de pizarras negras a cuarcitas.(IEDS, 1993)(Suarez & Diaz, 1996)

#### **- Ordovícico Superior – Devónico Superior**

### **2.8.3 Formación Cancañiri – Sec**

Esta formación litológicamente está conformada por una diamictitas intercaladas con areniscas y lutitas, estas con frecuencia muestran deslizamientos sinsedimentarios y capas deformadas. Esta unidad es equivalente a la Formación San Gabán en Perú.(Díaz Martínez et al., 1999)

Esta unidad se encuentra distribuido en la cordillera oriental y estribación oriental del altiplano, presenta un espesor muy variable alcanzando espesores de



más de 1000 metros, en la parte inferior limita de forma discordante con unidades ordovícicas, y superior concordante con unidades silúricas.(Suarez & Diaz, 1996)

#### **2.8.4 Formación Uncía – Sun**

Esta unidad está constituida principalmente de lutitas con una coloración verde olivo a un tono gris oscuro, las cuales están finamente estratificadas e intercaladas con bancos delgados de areniscas y limolitas con espesores que van de 0.50 a 1 metro. Las areniscas de esta unidad presentan un gran contenido de muscovita.(Vargas, 1970)(Suarez & Diaz, 1996)

La Formación uncía está distribuido en la Cordillera Oriental y el Altiplano con un espesor superior a 2000 metros, al piso limita de forma concordante sobre la formación Cancañiri y superior concordante con la Fm. Catavi.(Suarez & Diaz, 1996)

El equivalente de las formaciones Uncía, Llallagua y Catavi, aflorantes en el altiplano boliviano es la Formación Ananea en Perú. (Martinez & Monge, n.d.)

#### **2.8.5 Formación Catavi – Sct**

Litológicamente esta unidad está conformada principalmente por una alternancia de areniscas de una coloración verde olivo y lutitas de color gris verdusco, el tamaño de grano de las areniscas es de fino a medio. A comparación de la Fm, Uncía esta unidad es más arenosa.(Vargas, 1970)(Suarez & Diaz, 1996)

Esta unidad está distribuida en el altiplano y la Cordillera Oriental, presenta un espesor de 280 metros, al piso limita con la Fm. Uncía y superior concordante con la Fm. Vila Vila.(Suarez & Diaz, 1996)



### **2.8.6 Cuaternario**

Por último, el periodo cuaternario que consta de sedimentos no consolidados: depósitos coluviales que consisten de bloques y gravas, y depósitos coluvio-fluviales que está representado por gravas, arenas, limos y arcillas.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

Para efectuar la presente investigación, fue necesario realizar el uso de diferentes materiales, instrumentos y equipos en las distintas etapas desde gabinete hasta campo.

##### 3.1.1 Equipos y materiales de campo

Los materiales y quipos que se mencionan a continuación se usaron en la etapa de campo que constara de trabajos de cartografiado geológico de superficie a escala local, subterráneo y obtención de las muestras de la veta San José.

- Dron Phantom 4 pro
- GPS Map 64s
- 2 brújulas Brunton
- 2 martillos de geólogo - Estwing
- Lupa de 20x
- Libreta geológica de campo
- Lápices de colores
- Plano topográfico base
- Rayador de dureza
- Protactor
- Cámara fotográfica
- Bolsas de Muestreo
- Precintos
- Combos de 4 libras
- Cinceles punta de acero
- Cinceles punta diamante
- Camioneta 4 x 4 doble cabina – Hilux
- Equipos de protección personal



### **3.1.2 Equipos de laboratorio**

- Platina de calentamiento-enfriamiento tipo Linkan TH – 600.
- Microscopio polarizante marca Nikon.
- Fluorescencia de Rayos X (FRX) marca Rigaku GeigerFlex

## **3.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es cuantitativa de tipo descriptivo, porque el objetivo fue conocer la secuencia paragenética y para ello se procesó datos provenientes del laboratorio, descriptivo porque se realizó una caracterización de los rasgos geológicos del yacimiento de tungsteno; diseño no experimental, debido a que la variable no sufrió ninguna alteración (Hernandez et al., 2014).

Para realizar los estudios de petrografía, inclusiones fluidas, minerografía y de fluorescencia de rayos X, se tomaron muestras en los niveles de Añatuyani, Cristal Alto y San José, siendo estos niveles donde se está desarrollando la veta San José, en el yacimiento Kami. Para los estudios petrográficos se obtuvo 3 muestras, 1 muestra en superficie y 2 muestra en interior mina en el nivel Añatuyani, para el estudio de inclusiones se tomó 2 muestras, el estudio de minerografía se realizó de 9 muestras obtenidas en ellos 3 niveles de la veta San José y por último en análisis de fluorescencia de rayos X se realizó de 2 muestras.

Para el desarrollo de esta investigación se dividió en 3 etapas de trabajo:

### **3.2.1 Etapa de gabinete I**

Esta etapa consistió en la preparación de los materiales necesarios y la recopilación de trabajos anteriores existentes referentes a la zona de estudio. Además, se realizó la revisión de la información topográfica (hoja topográfica 6241 - IV de nombre KAMI a escala 1:50.000 publicada por el Instituto

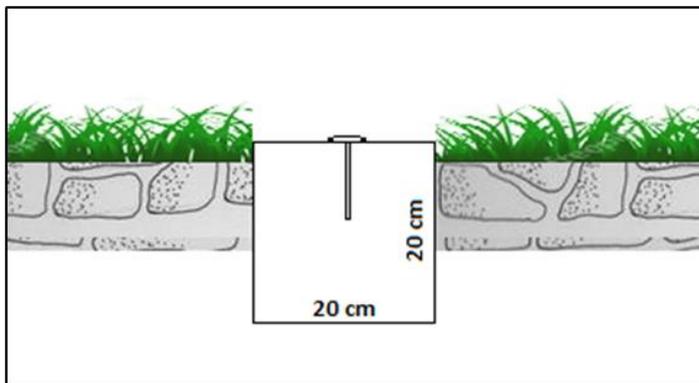
Geográfico Militar), así como también la carta geológica del área de estudio elaborada por GEOBOL a una escala 1:100,000, los mapas antes mencionados fueron obtenidos del Servicio Geológico Minero (SERGEOMIN).

### 3.2.2 Etapa de campo

Los trabajos de campo en superficie iniciaron con la colocación de los puntos de control, el cual presenta una nomenclatura o nombre de referencia para su fácil ubicación.

#### Figura 6

*Características del amojonamiento con cemento.*



#### Figura 7

*Colocación de los puntos de control*



A partir de los 2 BM colocados se realizó la densificación de puntos con estación total los cuales ayudaron a orientar y ajustar el vuelo del dron con datos de puntos georreferenciados permitiéndonos alcanzar la correcta georreferenciación de las fotografías del vuelo.

Una vez culminada los trabajos de fotogrametría, se generó el mapa base respectivo (curvas de nivel) para empezar a realizar el mapeo geológico superficial a una escala local de 1/3000 sobre los mapas generados, el cartografiado geológico estuvo enfocado principalmente en la caracterización litológica, toma de datos estructurales e identificación de estructuras mineralizadas (vetas) existentes en el yacimiento Kami y de la misma forma la toma de muestras.

### **Figura 8**

*Mapeo geológico superficial.*



Una vez culminado los trabajos en superficie e identificado la veta San José en superficie se realizó los trabajos de levantamiento topográfico subterráneo



de los 3 niveles identificados en la etapa inicial en la cual se está realizando trabajos de explotación y reconocimiento de la estructura antes mencionada.

Posterior a ello se realizó los trabajos de mapeo geológico subterráneo sobre el plano topográfico del nivel Añatuyani a una escala de 1/500, así mismo se obtuvieron un total de 11 muestras orientadas pertenecientes a la veta San José.

### **3.2.3 Etapa de gabinete II**

En esta fase implica todos los procedimientos en el laboratorio, desde la preparación de las muestras obtenidas en la etapa de campo hasta su análisis respectivo:

#### **A. PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

La preparación de muestras para el análisis petrográfico (secciones delgadas), minerográfico (secciones pulidas), inclusiones fluidas y estudio de fluorescencia de rayos x, fue realizado en las instalaciones del laboratorio del Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente – IGEMA.

Para la preparación de secciones delgadas se realizó el corte de la roca en forma de paralelepípedo con la ayuda de una sierra diamantada. Luego se pega la muestra al portaobjeto con bálsamo de Canadá y se realiza un nuevo corte para reducir el espesor de la muestra con la ayuda una sierra más fina. Posteriormente se desgasta y pule la muestra con abrasivos (carburo de silicio) de diferentes diámetros (No. 170, 400, 800, 1500 y 3000), hasta que la muestra tenga un espesor de 30  $\mu$ . Finalmente se cubre la muestra con un cubre objeto y se elimina el exceso de pegamento.

**Figura 9**

*Corte de la muestra con una sierra diamantada.*



**Figura 10**

*Sierra diamantada más fina para realizar el corte y reducción de las muestras.*



Para la preparación de secciones pulidas se realizó el corte de la roca en forma de cilíndrica con una sierra diamantada. Luego se realiza un nuevo corte para reducir el espesor de la muestra con una sierra más fina. Posteriormente se procede a pulir la muestra con abrasivos (Carburo de silicio) de diferentes diámetros (No. 170, 400, 800, 1500 y 3000)., Finalmente, se coloca la muestra en un pulidor automático durante una hora.



Para la preparación de las muestras para el análisis de fluorescencia de rayos X, se tomó una parte de cada una de las muestras, mismas que fueron pulverizadas en mortero de ágata.

## **B. ESTUDIO PETROGRÁFICO**

Se empezó desde la descripción macroscópica hasta la microscópica de las 3 muestras, la descripción macroscópica se realizó después realizado el corte de la roca en el IGEMA, posterior a ello la descripción microscópica de las secciones delgadas se realizó con el microscopio de polarización con luz transmitida identificando y describiendo los minerales formadores de la muestra, sus porcentajes de los mismos, las texturas que presentan, sus asociaciones, alteraciones y se realiza la clasificación de la roca.

## **C. ESTUDIO MINERAGRÁFICO**

Se empezó desde la descripción macroscópica hasta la microscópica de las 9 muestras, lo primero se realizó con la ayuda de una lupa de 20x después realizado el corte de la muestra, posterior a ello la descripción microscópica de las secciones pulidas se realizó con el microscopio de polarización con luz reflejada identificando los minerales opacos que conforman la muestra, el cual consistió en la descripción de sus rasgos morfológicos, el tamaño de los minerales presentes, su asociación entre ellos, texturas y sus porcentajes, para luego definir la secuencia de formación de los mismos.

## **D. INCLUSIONES FLUIDAS**

Para el análisis microtermométrico fueron estudiadas las inclusiones fluidas presentes en el cuarzo hidrotermal asociado a minerales de wólfam y scheelita, procedente de la mina Kami, de todos los minerales que forman las

paragénesis se optó por el cuarzo hidrotermal ya que es el mineral más favorable debido a sus características de transparencia y translucidez.

Ya teniendo las muestras adecuadas para el estudio se realizó las preparaciones de las secciones doblemente pulidas, con un espesor de 0,5mm, esto de acuerdo el método propuesto por Barabas & Leroy (1983), el cual sugiere que los espesores deben ser entre 0,1mm y 0,5mm.

Para este fin fue empleada una platina de calentamiento-enfriamiento tipo “Linkan TH – 600” con rangos de temperatura entre -180 y 600°C, montada sobre la platina de un microscopio polarizante marca Nikon.

### **Figura 11**

*Platina de calentamiento-enfriamiento tipo “Linkan TH – 600” montada sobre la platina de un microscopio polarizante marca Nikon.*



### **E. FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

El equipo de Fluorescencia de Rayos X (FRX) marca Rigaku GeigerFlex, que trabaja con tubo de Cr a 50 Kv y 30mA. El registro tiene dos partes, una es automática, corrida en un rango de 10° a 65°, para determinar la presencia de



elementos pesados, y otra, es manual y en rangos puntuales que corresponden a elementos ligeros incluyendo a Ca y Ti.

Así mismo en esta etapa se procesó toda la información recolectada en campo, se analizó los resultados de análisis químico de laboratorio, de la misma se realizó la interpretación de los resultados de las secciones pulidas, así mismo se elaboró los mapas usando el software ArcGIS correspondientes al mapeo geológico, caracterización estructural y finalmente con los resultados obtenidos se realizó el informe final de la investigación.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El yacimiento Kami políticamente está ubicado en el cantón Icoya, provincia de Ayopaya, departamento de Cochabamba (ver Lámina 01 – Mapa de Ubicación) el área de estudio se encuentra en al Nor-Oeste del departamento antes mencionado, a una altura que oscila entre los 3800 a 4200 msnm, limitado por el río Ayopaya con el departamento La Paz.

#### Tabla 5.

*Coordenadas del área de estudio.*

Coordenadas UTM – WGS84	
Este	Norte
730520	8077095

#### 4.2 ACCESIBILIDAD

Este yacimiento minero se encuentra en la hoja topográfica 6241 - IV de nombre KAMI a escala 1:50.000 publicada por el Instituto Geográfico Militar, en la que se puede observar la ubicación de la mencionada localidad.

A la zona de estudio se accede, partiendo desde la ciudad de Puno siguiendo la ruta hacia la localidad fronteriza de Desaguadero, posterior a ello nos dirigimos hacia la ciudad de La Paz por vía terrestre, siguiendo la ruta nacional 1, para luego seguir por la ruta nacional 1 y 4 hasta ciudad de Cochabamba, luego se retorna por la vía asfaltada ruta nacional 4, hasta llegar al sector de Pongo, posterior a ello se toma el desvío hacia Kami

recorriendo una trocha carrozable por un promedio de 2:30 horas, este tiempo de viaje dependerá de las condiciones climáticas y el estado de la vía.

**Tabla 6.**

*Accesibilidad al área de estudio.*

TRAMO	Km.	Tiempo Hrs.	Tipo de camino
Puno - Desaguadero	147	2:30	Asfaltado
Desaguadero – La Paz	118	2:00	Asfaltado RN1
La Paz - Cochabamba	380	7:00	Asfaltado RN1 y RN4
Cochabamba - Pongo	95	2:45	Asfaltado – RN4
Pongo – Mina Kami	68	2:30	Trocha carrozable
TOTAL	808	16:45	

### 4.3 GEOMORFOLOGIA

El macizo de Kami junto al de Chicote se encuentran al SE de la serranía de Amutara con la cual están alineados en una dirección NW-SE y separadas por el río Ayopaya.

**Figura 12**

*Alineación de los yacimientos de Kami, Chicote chico y grande.*



La zona de la investigación se caracteriza por presentar un relieve abrupto con pendientes mayores a 40°. El cerro Kami se eleva abruptamente desde los ríos Kami y Ayopaya que lo circundan.



La elevación máxima de la zona de estudio la constituye la cumbre del cerro Kami, que de acuerdo a los puntos geodésicos colocados (que son las consideradas en los planos adjuntos a la presente investigación) y posterior vuelo del dron presenta una altura aproximada de 4,250m (4,241m según las hojas topográficas del Instituto Geográfico Militar), mientras que la parte más baja de la mina está constituida por el campamento de Patiño bajo a 3,280 m.

La erosión tiene mayor efecto sobre las rocas sedimentarias blandas (lutitas y areniscas) que constituyen las partes bajas que rodean la parte central constituida por rocas metamórficas las cuales, son más resistentes al proceso erosivo, y conforman las

A continuación, se describen las unidades geomorfológicas más resaltantes:

**a. Montañas**

Esta unidad conforma el cerro Kami y el cerro Chicote Grande, ya que éstas presentan un desnivel superior a los 300m de con respecto al río Ayopaya, con pendientes superiores a 40°.

**b. Valles en V**

La unidad geomorfológica más resaltante son los valles profundos en “V” debido a la altura considerable de la zona conformado por el río Ayopaya.

### **Figura 13**

*Valle fluvial en V, esta morfología se encuentra en la base del cerro Kami, conformado por el río Ayopaya.*



## **4.4 GEOLOGIA LOCAL**

La zona de estudio se encuentra principalmente sobre la Formación Amutara perteneciente al sistema ordovícico.

### **4.4.1 Litología de la Formación Amutara**

Las rocas aflorantes de la Formación Amutara litológicamente se puede dividir en tres unidades, las cuales se describen a continuación:

#### **a. Areniscas cuarzosas y limolitas**

Estas rocas son típicas en el área y rodean las unidades que se describen a continuación, son de edad ordovícica y se presentan en una secuencia monótona. En algunos casos con intercalaciones de areniscas micáceas.

La zona de estudio se encuentra emplazada en las rocas de la Formación Amutara el cual está conformada litológicamente por areniscas cuarzosas de grano

fino a medio, presentando estratos tabulares de 3 – 20cm, con presencia de muscovita.

#### **Figura 14**

*Estratos tabulares de areniscas de la Fm. Amutara, ubicada al norte de la localidad de Kami.*



#### **Figura 15**

*Arenisca cuarzosa de la Fm. Amutara que presenta laminación paralela, buena selección y madurez.*



**Figura 16**

*Limolitas gris claras de la Fm. Amutara*



**Figura 17**

*Limolita con láminas delgadas de arenisca cuarzosa gris blanquecino interestratificados.*



- **Pizarras**

Las pizarras son rocas metamórficas de grano fino sin bandeamiento. La composición, mineralógica no pudo determinarse macroscópicamente, las pizarras son producto del metamorfismo de las lutitas de edad ordovícica y pueden ser clasificadas como resultado de un incipiente metamorfismo de contacto.

**Figura 18**

*Afloramiento de pizarras de grano fino.*



**b. Cuarzitas y esquistos**

Está constituido por bloques de cuarcita, rodeado por esquistos que conforme decrece el grado de metamorfismo se convierten en pizarras. Se trata de cuarcitas caracterizadas por su textura granoblástica.

En lugares donde concurren las cuarcitas y pizarras, son más resistentes a la erosión y se presentan como paredes verticales, rodeadas de lutitas blandas y areniscas suaves formándose así el macizo de Kami.

Los sedimentos paleozoicos más antiguos y que abarcan mayor área en la zona de interés están constituidos por cuarcitas y pizarras que como consecuencia del fuerte metamorfismo de contacto y silicificación a que fueron sometidas son



resistentes a la erosión y controlan el macizo de Kami de pendientes fuertemente empinada.

El rumbo general de la estratificación es NW-SE, los buzamientos son verticales o mayores a  $70^\circ$  hacia el NE o al SW. La posición original de los estratos está fuertemente afectada por fallamiento, razón por la cual es difícil establecer la estructura local que parece corresponder a la de un anticlinal que probablemente es consecuencia de una intrusión ígnea profunda (al igual que el metamorfismo) que estaría localizada por debajo de los 2,650 m que es el nivel del río Ayopaya, cuyo profundo cañón no ha expuesto afloramiento ígneo alguno, ver anexo N° 03 – mapa geológico local a una escala 1/3000.

#### **4.4.2 Geología Estructural**

En la zona de estudio, se observa claramente la acción de un fuerte tectonismo, producto de dos principales fallas inversas que atraviesan la zona. Los sedimentos paleozoicos se presentan plegados y fallados, por efecto de compresiones y movimiento de bloques en diferentes épocas geológicas, especialmente posterior al Cretácico y durante el periodo Terciario. Se considera que, a mediados del terciario, se produjo la mineralización aprovechando las numerosas grietas, a fines del terciario se desarrolló otro movimiento de menor intensidad, desplazando las estructuras mineralizadas por efecto de las fallas normales.

La falla de mayor importancia, constituye la falla Kami, denominada por pasar cerca de la población de Kami; atraviesa el área con rumbo NE, esta falla inversa afecta sedimentos ordovícicos y sirve de límite NE a la zona wolframífera del sector estannífero.



Entre las fallas normales y de poco desplazamiento, están las fallas San Francisco y San Miguel con rumbo NE, paralelas y buzan con una inclinación de 70° al SE, (tal como se puede apreciar en el mapa N° 03). Existen otras fallas de menor importancia, por ser de muy poco desplazamiento no se las consideró.

Casi todas las estructuras mineralizadas presentes en el yacimiento Kami son transversales a los estratos.

#### **4.4.3 Mineralización**

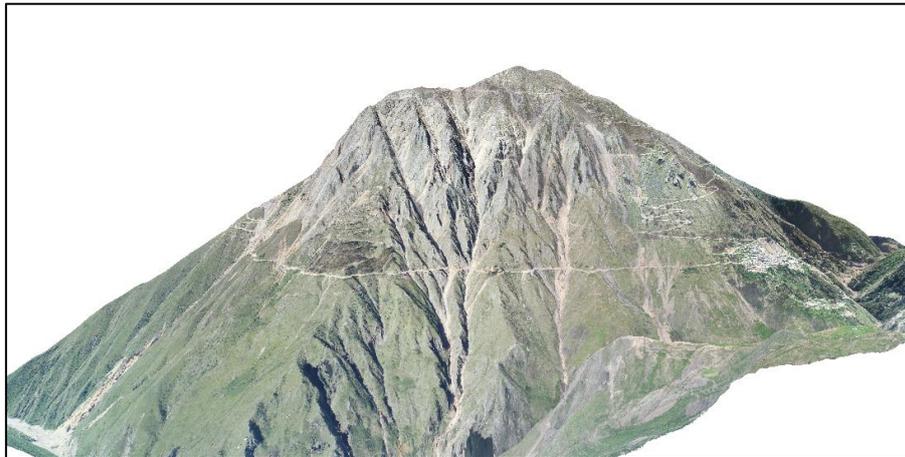
El yacimiento Kami es un yacimiento de tungsteno de alta temperatura relacionado con una intrusión oculta que habría sobrelevantado, plegado, fracturado y metamorfizado los estratos en que están emplazadas las estructuras mineralizadas y la vetas es el producto de relleno de fracturas, la zona de mayor metamorfismo (wolframífera) estaría por encima de la cúpula ígnea, mientras que las partes más alejadas del centro ígneo corresponden a las zonas de vetas de estaño.

En la mina Kami la mineralización aprovechó las fracturas abiertas por la numerosas que fallas que la atraviesan, la mineralización de estaño rodea de manera periférica la zona de tungsteno. El relleno de las vetas generalmente consiste de cuarzo, arsenopirita y pirrotina.

La mineralización y la tectónica están relacionados en la mina Kami; las rocas por efecto de la posible intrusión magmática profunda, fueron elevados y fracturadas, un segundo movimiento tectónico formó nuevas fracturas y zonas de falla con un rumbo N25° - 50°E que cortan las primeras fracturas que presentan una dirección preferencial de NW-SE.

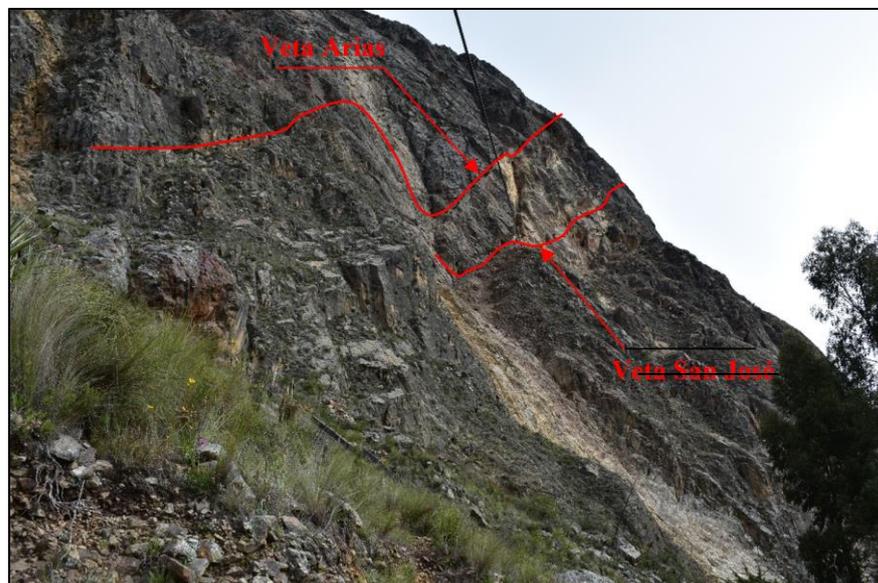
### Figura 19

*Forma cónica del yacimiento Kami que sugiere la existencia de un intrusivo en profundidad.*



### Figura 20

*Veta Arias y Veta San José aflorando en superficie.*



**Figura 21**  
*Veta San José en el nivel Añatuyani.*



La alteración de la roca huésped consisten en la turmalinización de las salbandas y es también importante la silicificación.

En la zona de estudio y sus alrededores no afloran rocas ígneas, el último intrusivo conocido se halla a 150 Km. Aproximadamente al NE de Kami, constituyéndose en el Batolito de Santa Vera Cruz.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

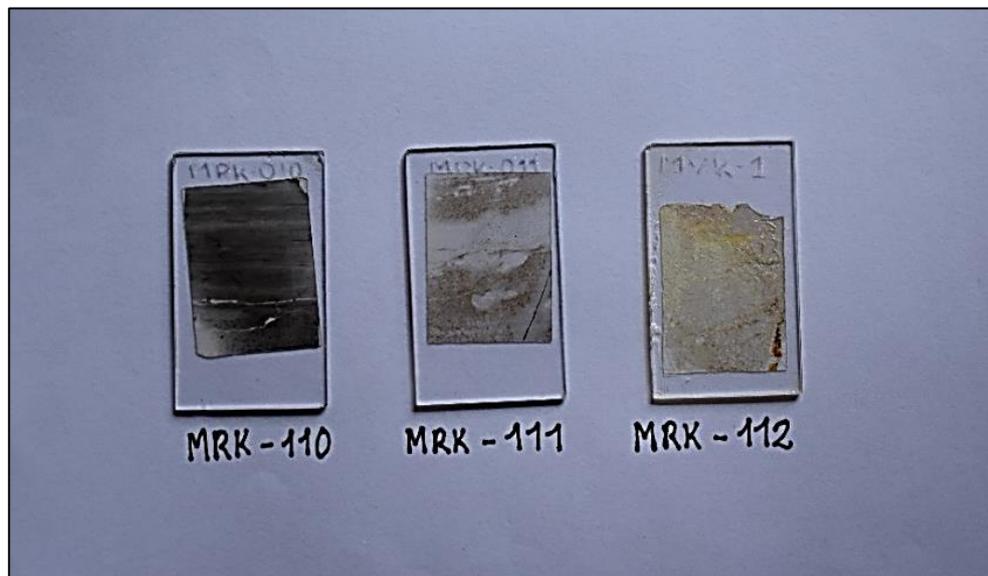
#### 5.1 CARACTERÍSTICAS GEOLOGÍCAS DEL YACIMIENTO KAMI

##### 5.1.1 Descripción petrográfica

Así mismo se realizó 3 secciones delgadas de muestras de la roca encajonante provenientes de la zona de estudio, las cuales se describen a continuación:

##### Figura 22

*Secciones delgadas.*



**MRK - 110**

### Figura 23

*Muestra de roca MRK - 110.*



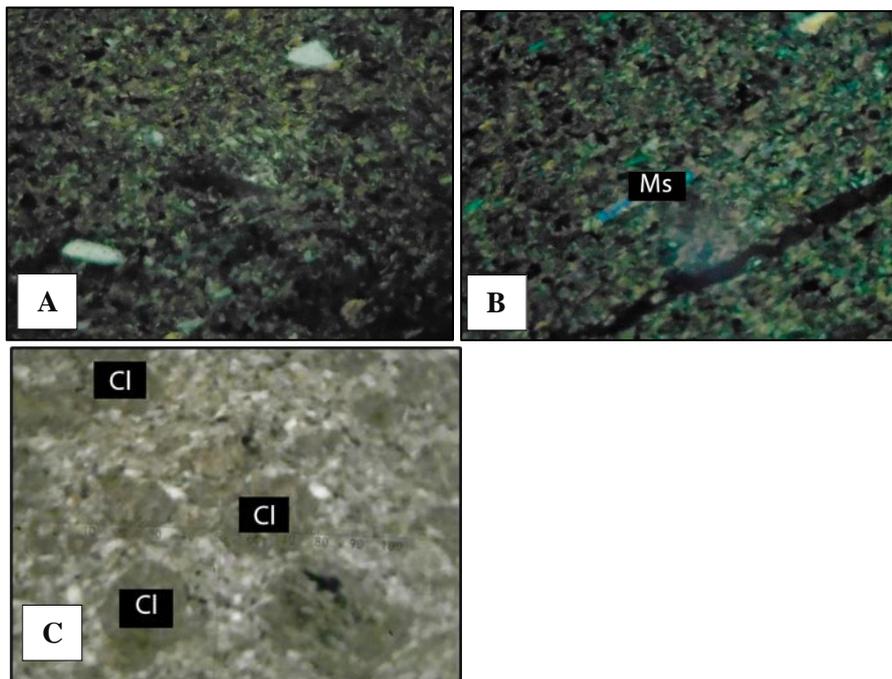
- **Descripción**

Fragmento de roca metamórfica foliada, es de grano fino y de color gris oscuro. Es competente, homogénea y está compuesta por muscovita, cuarzo y menas de hierro, esta muestra fue obtenida en superficie en el transecto Patiño – Añatuyani, en las siguientes coordenadas: Este 729702, Norte 8076554 y una cota de 3469 msnm,

- **Descripción microscópica**

### Figura 24

*Microfotografías de la sección delgada de la muestra MRK – 110.*



Se observa: En NXs, aumento 100 x, **A.-** Cuarzo detrítico sostenido por una matriz serícitica. **B.-** Cristal acicular de muscovita junto a una vetilla de menas de hierro. **C.-** Porfidoblastos de clorita. NIIs, aumento 200x.

- **Descripción mineralógica**

<b>Mineral</b>
<b>La clorita</b> , se encuentra como porfidoblastos anhedrales, se encuentran más concentrados en algunos niveles.
<b>Los cristales de muscovita</b> , son aciculares, muestran una orientación preferencial paralela a la foliación y algunos ejemplares se hallan flexionados.
<b>El cuarzo</b> , detrítico presenta formas anhedrales.
<b>Las menas de hierro</b> , tienen formas anhedrales, también se encuentran como ocasionales microvetillas.
<b>La matriz</b> , está compuesta por sericita.
<b>Textura</b>
Porfídolepidoblástica
<b>Clasificación</b>
Roca metamórfica foliada denominada pizarra.

**MRK – 111**

**Figura 25**

*Muestra de roca MRK – 111.*



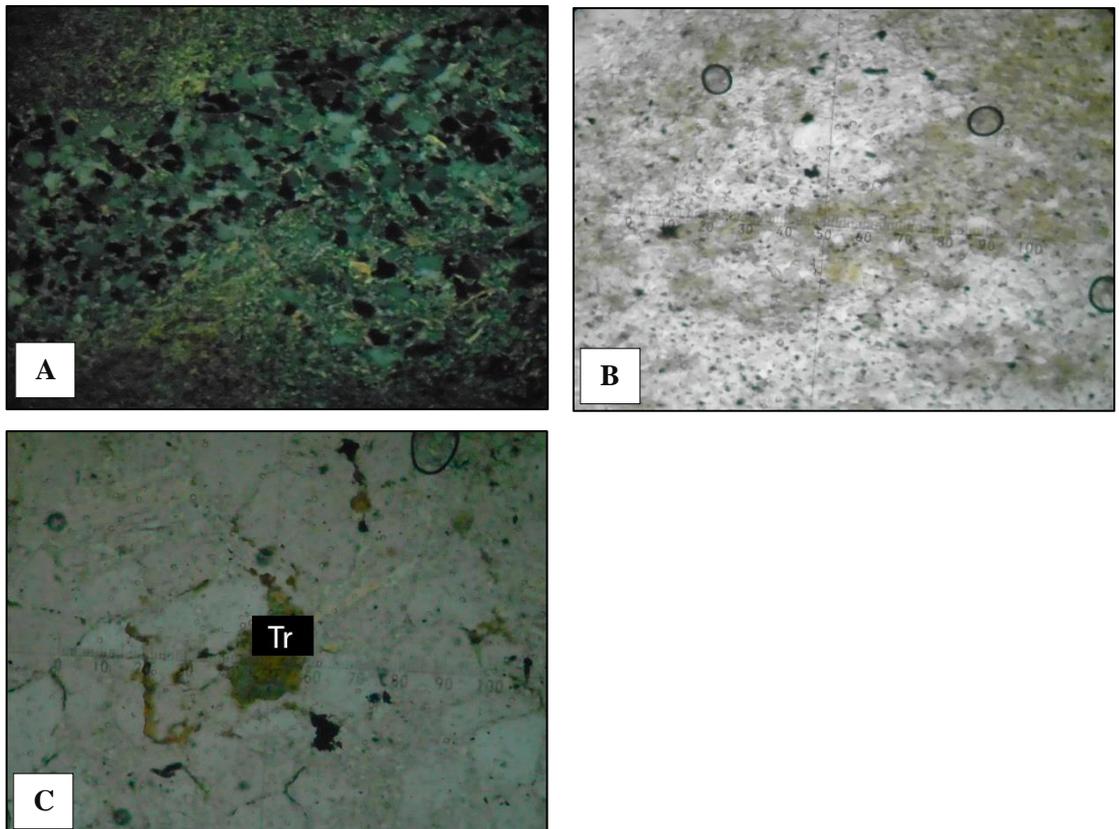
- **Descripción**

Fragmento de roca metamórfica foliada, es de grano fino y de color gris oscuro, intercalado con bandas gris claras. Es bastante competente, se observa marcado bandeamiento y está compuesta por muscovita, turmalina, cuarzo y menas de hierro. Existen hidróxidos de hierro como impregnaciones y rellenando fracturas, esta muestra fue obtenida en interior mina en el nivel de Añatuyani, en las siguientes coordenadas: Este 730227, Norte 8077800 y una cota 3660 msnm.

- **Descripción microscópica.**

**Figura 26**

*Microfotografías de la muestra MRK – 111.*



En NXs, aumento 50x, se observa: **A.-** Banda de cuarzo detrítico intercalado con una matriz serícitica, en NIIs, se observa: **B.-** Porfidoblasto irregular de andalucita, aumento 100 x. **C.-** Turmalina anhedral junto a una mena de hierro, aumento 200x.



- **Descripción mineralógica**

<b>Mineral</b>
<b>La andalucita</b> se encuentra como porfidoblastos irregulares.
Los cristales de <b>muscovita</b> son aciculares, muestran una orientación preferencial paralela a la foliación.
<b>La turmalina</b> presenta cristales anhedrales, son más frecuentes en las bandas de cuarzo.
<b>El cuarzo</b> detrítico presenta formas anhedrales, se encuentran agrupados formando bandas o lentes.
Los microcristales de <b>circón</b> son subhedrales, se encuentran dentro las bandas de cuarzo.
<b>Las menas de hierro</b> tienen formas anhedrales.
<b>La matriz</b> está compuesta por sericita y menas de hierro.
<b>Textura</b>
Porfidogranolepidoblástica
<b>Clasificación</b>
Roca metamórfica foliada denominada esquisto cuarzo micáceo

**MRK – 112**

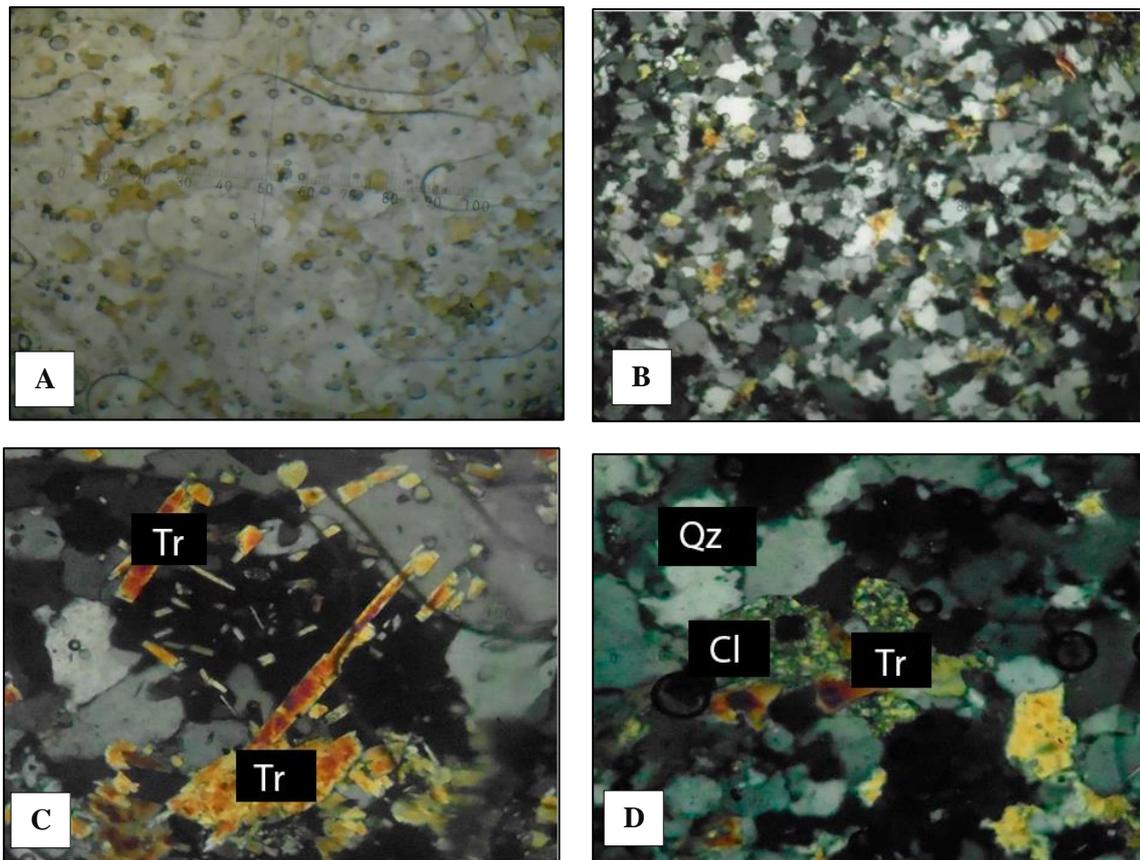
- **Descripción**

Fragmento de roca metamórfica no foliada, es de grano fino y de color marrón. Es muy competente, homogénea y está compuesta por cuarzo, turmalina y menas de hierro, esta muestra fue obtenida en interior mina en el nivel de Añatuyani, en las siguientes coordenadas: Este 730069, Norte 8077678 y una Cota de 3661 msnm.

- **Descripción microscópica**

**Figura 27**

*Microfotografías de la muestra MRK – 112.*



En NIIs y NXs respectivamente, se observa: **A y B.-** Vista general de la roca compuesta principalmente por cuarzo y turmalina. Aumento 50x, **C.-** cristales aciculares de turmalina, presentes en la cuarcita, aumento 200 x. **D.-** Clorita reemplazando a la turmalina, aumento 200 x, En NXs.

- **Descripción mineralógica**

<b>Mineral</b>
<b>El cuarzo</b> presenta formas anhedrales, sus bordes son dentados, están dispuestos en forma de mosaicos, ocasionalmente presentan extinción ondulante.
<b>Los cristales de turmalina</b> son anhedrales, en menor proporción existen cristales aciculares y radiales.
<b>La clorita</b> presenta formas anhedrales y ocasionalmente radiales, se encuentran alterando a la turmalina.
<b>Los microcristales de circón</b> tienen formas subhedrales.



<b>Las menas de hierro</b> tienen formas anhedrales, se encuentran como inclusiones en el cuarzo.
<b>La siderita</b> se encuentra como una vetilla atravesando a la roca.
<b>Textura</b>
Granoblástica
<b>Clasificación</b>
Roca metamórfica no foliada denominada cuarcita

### 5.1.2 Inclusiones Fluidas

En las muestras analizadas se han reconocido dos tipos de inclusiones fluidas: primarias y secundarias. Las últimas, a diferencia de las inclusiones fluidas primarias, sobre todo se encuentran alineadas y distribuidas según las fracturas del mineral y son principalmente monofásicas ricas en líquido y bifásicas ricas en líquido en menor proporción. Estas se encuentran en abundancia en las muestras y no son apropiadas para el análisis microtermométrico, ya que se producen posteriormente a la formación del cristal.

Las inclusiones fluidas primarias del tipo bifásico (Fases “Líquida + Vapor”) son escasas. En las inclusiones fluidas bifásicas, la fase “Vapor” corresponde al vapor de agua y en menor proporción anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). El grado de relleno por la fase vapor en inclusiones primarias bifásicas varía entre 10 y 30 %, por lo tanto, son inclusiones bifásicas ricas en líquido. Para la homogenización de las inclusiones fluidas fueron abarcadas principalmente las inclusiones fluidas primarias bifásicas con las fases Líquido + Vapor de agua, también líquido+CO<sub>2</sub> y algunas inclusiones secundarias. En total fueron obtenidas 27 medidas en inclusiones primarias y 20 medidas en inclusiones secundarias.

Las inclusiones fluidas primarias presentan formas irregulares, redondeadas, subredondeadas, angulosas, subangulosas y alargadas. El tamaño de



las inclusiones varía entre 10 y 80  $\mu$ . También existen manifestaciones de derrame y estrangulamiento.

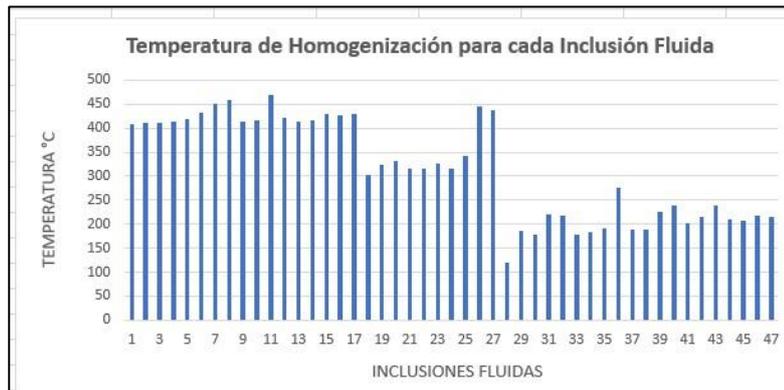
En las inclusiones no fue detectada la ocurrencia de microcristales salinos (fase “Solida” de (NaCl/KCl), lo que indica baja salinidad de las soluciones metasomáticas (<20 %).

La temperatura de homogenización de las inclusiones bifásicas primarias, que a su vez refleja la temperatura de las soluciones hidrotermales a partir de las cuales fue depositado el mineral, según el análisis realizado corresponde a un rango entre 302 y 470°C (ver figura 29), la mayor frecuencia se encuentra entre 406 y 440 °C (ver figura 28), lo que corresponde a soluciones hidrotermales de tipo “hipotermal”.

La temperatura de homogenización de las inclusiones bifásicas secundarias corresponde a un rango entre 120 y 275 °C (ver figura 30) y la mayor frecuencia se encuentra entre 206 y 240°C (ver figura 45).

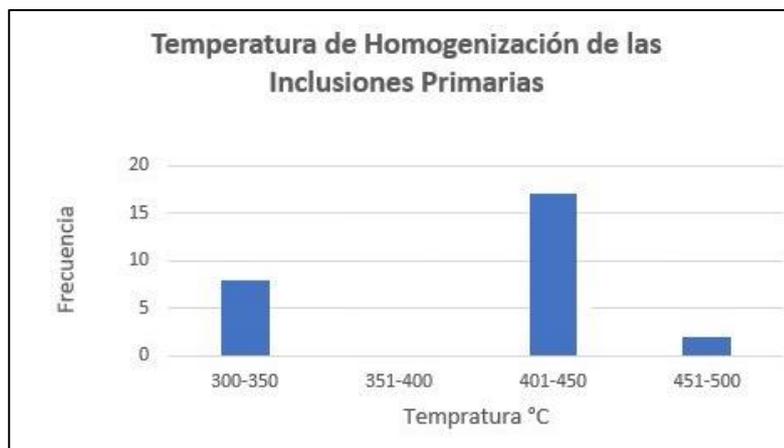
**Figura 28**

*Histograma de temperatura de homogenización para cada inclusión fluida.*



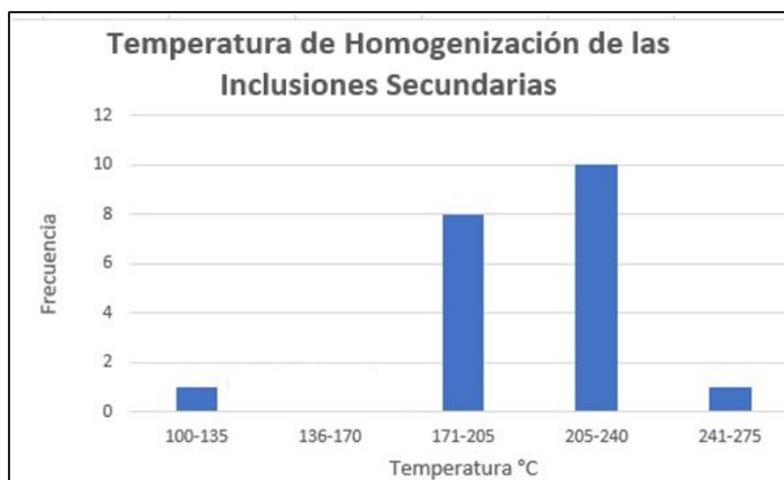
**Figura 29**

*Histograma de homogenización de las inclusiones primarias.*



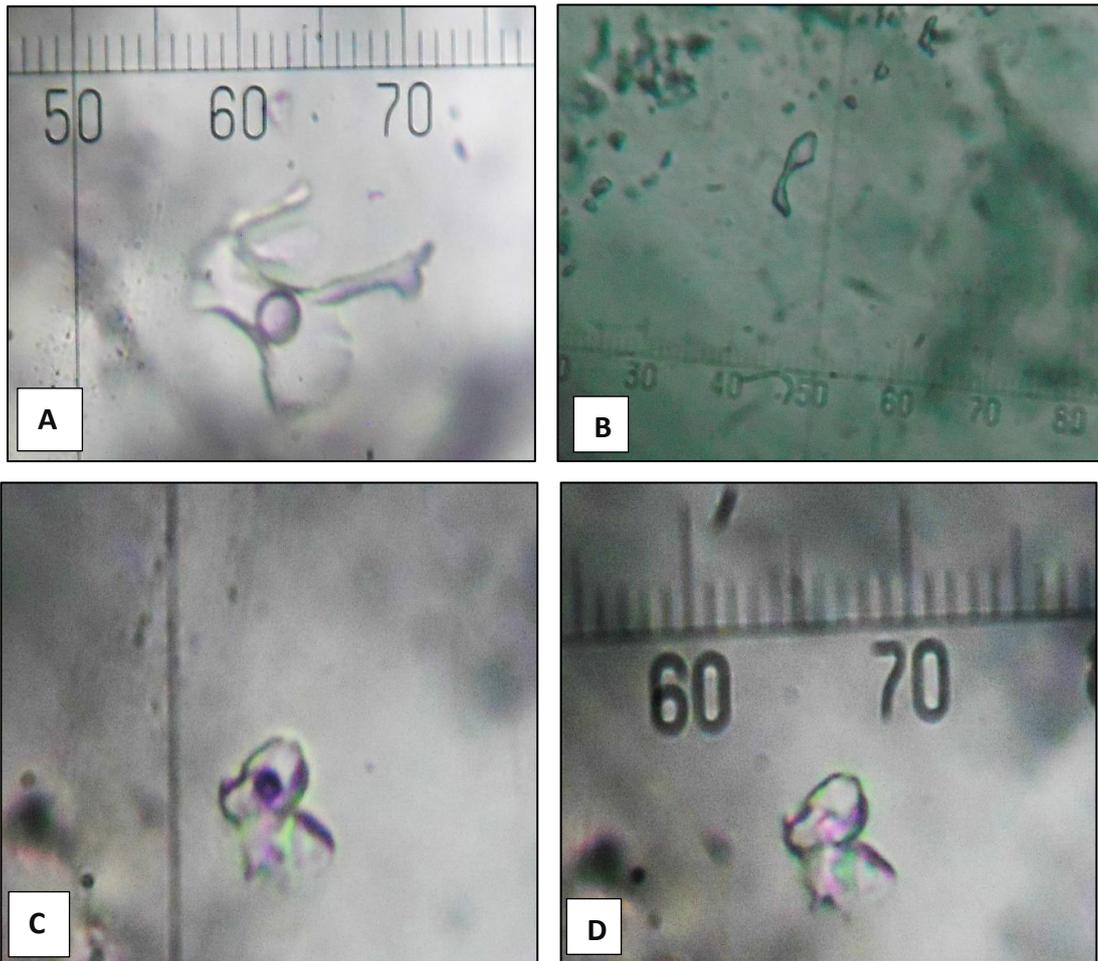
**Figura 30**

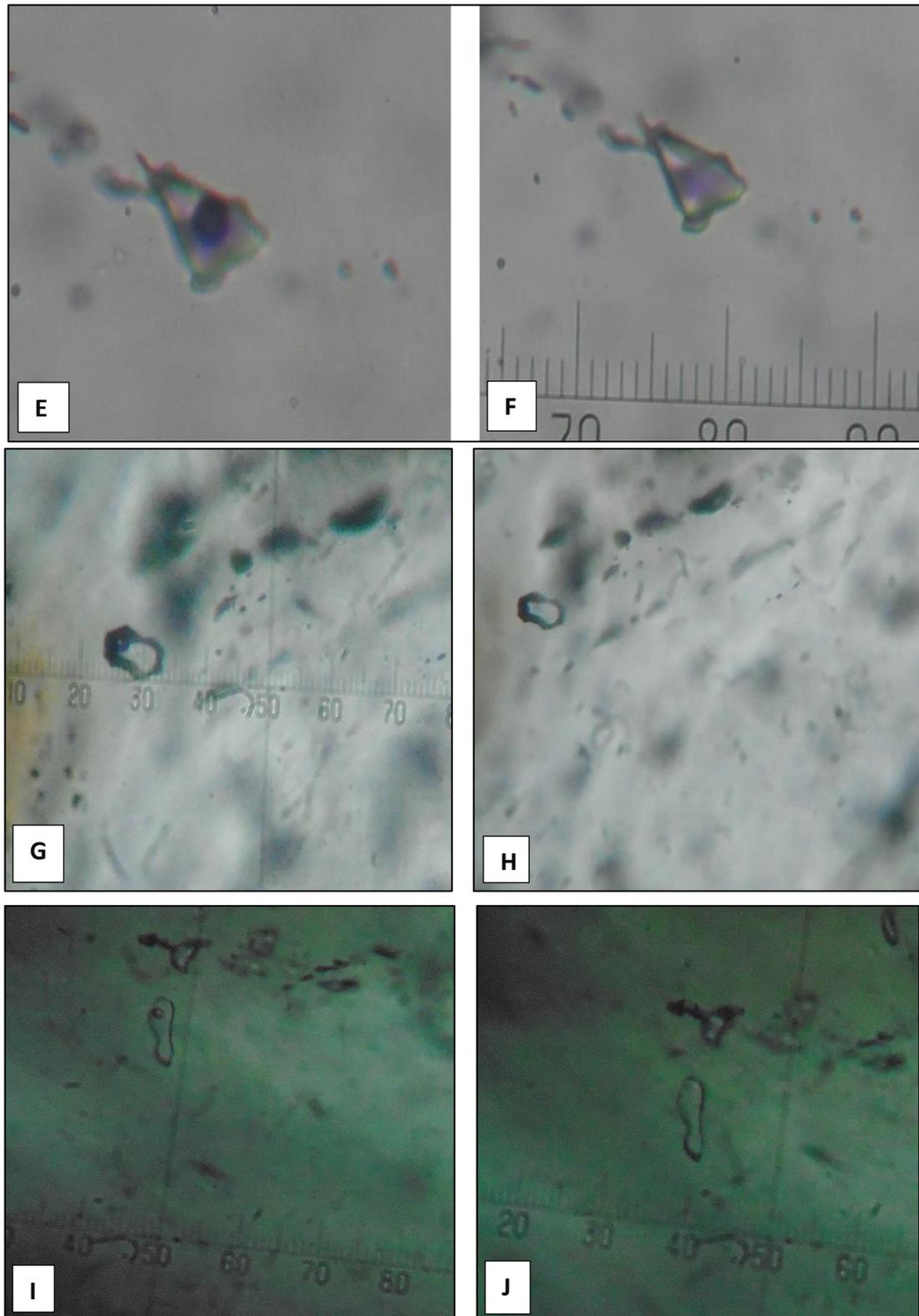
*Histograma de homogenización de las inclusiones secundarias.*



**Figura 31**

*Microfotografía MVK – 120 y 129*





En NIIs, aumento 300 x, se observa: A y B.- Manifestaciones de derrame y estrangulamiento, aumento 300x y 100x, respectivamente. C y D.- Inclusión bifásica subredondeada rica en líquido, antes y después de la homogenización. E

y F.- Inclusión bifásica subangulosa rica en líquido, antes y después de la homogenización. G y H.- Inclusión bifásica secundaria rica en líquido, antes y después de la homogenización. I e J.- Inclusión bifásica primaria con forma alargada, antes y después de la homogenización, aumento 100x.

## 5.2 SECUENCIA PARAGENETICA DE LA VETA SAN JOSE

Con la finalidad de determinar la secuencia paragenética el cual fue objetivo del presente trabajo de investigación se realizaron las secciones pulidas, a partir de las muestras obtenidas de la Veta San José del yacimiento Kami.

### 5.2.1 Descripción macroscópica

**MVK – 120**

#### **Figura 32**

*Fotografía de la muestra MVK – 120.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, Labor Añatuyani,  
la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 729886

Norte 8077571

Cota 3665

La veta presenta una potencia de 0.30m, esta muestra fue obtenida 50m al tope con respecto al punto de referencia topográfica E-30R, la wolframita es apreciable a simple vista como se muestra en la fotografía, mineralógicamente tiene como componente principal al cuarzo, seguido de pirita en menor proporción y en una cantidad escasa se presenta la pirrotina, arsenopirita y la wolframita.

**MVK – 121**

**Figura 33**

*Fotografía de la muestra MVK – 121.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – San José, Labor Añatuyani, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 729980

Norte 8077627

Cota 3663

En este sector la veta presenta una potencia de 0.25m, la muestra fue obtenida a 3.50m al tope con respecto al punto de referencia topográfica E-16R, la veta de cuarzo se encuentra oxidada y oquereso producto de la lixiviación, se aprecia arsenopirita, pirita y óxidos de Fe, no se aprecia presencia de wolframita.

**MVK – 122**

**Figura 34**

*Fotografía de la muestra MVK – 122.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, Labor Añatuyani, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 730131

Norte 8077713

Cota 3660

La veta en la zona de muestreo presenta una potencia de 0.25 – 0.30m, la muestra fue obtenida a 3.50m menos con respecto al punto de control topográfico E – 5R, está constituido como una veta de cuarzo masiva y con pirita de manera escaza en forma diseminada, presenta 2 generaciones de cuarzo éstas diferenciadas por la forma en que se presentan.

**MVK – 123**

**Figura 35**

*Fotografía de la muestra MVK – 123.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, Labor Añatuyani, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 730227

Norte 8077800

Cota 3660

La veta presenta una potencia de 0.20m en el sector de muestreo el cual está ubicado a la altura del punto de control topográfico A12 ubicado al hastial izquierdo, la muestra está lixiviada por la presencia de aguas meteóricas, la muestra analizada corresponde a una veta mineralizada con arsenopirita, pirita, calcopirita, hidróxidos de hierro y cuarzo.

**MVK – 124**

**Figura 36**

*Fotografía de la muestra MVK – 124.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, Cristal Alto, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 729831

Norte 8077526

Cota 3627

La muestra fue obtenida a 2m menos con respecto al tope en desarrollo en el Socavón Cristal Alto el cual está al SW con respecto a la labor Añatuyani, la veta presenta una potencia de 0.50m, la roca encajonante es de cuarcita, la muestra tiene mayormente componentes de sulfuros entre los que domina es la pirrotina, con contenidos muy bajos de arsenopirita, ambos corresponden a la primera etapa y se aprecia el cuarzo en forma de vetillas cortando a la pirrotina.

**MVK – 125**

### **Figura 37**

*Fotografía de la muestra MVK – 125.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, Cristal Alto, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 729700

Norte 8077418

Cota 3625

La muestra fue obtenida -11.75m con respecto al punto de control topográfico E - 22CA, la veta presenta un ancho de 0.25m. roca encajonante cuarcita, la muestra de la veta está constituido por cuarzo que se encuentra cementando a los sulfuros como la arsenopirita y pirita, así mismo se aprecia bastante contenido de hidróxidos de hierro.

**MVK – 126**

**Figura 38**

*Fotografía de la muestra MVK – 126.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, labor San José, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 729831

Norte 8077526

Cota 3673

La muestra fue obtenida en el nivel San José, nivel superior con respecto a los niveles antes mencionados, a la altura del punto de control topográfico 7A, presenta una potencia 0.25m, la muestra analizada corresponde a la veta San José, mayormente este compuesto por arsenopirita el cual se encuentra como una veta masiva correspondiente a la primera etapa, así mismo se aprecia cuarzo atravesado a la arsenopirita como una segunda etapa.

**MVK – 127**

### **Figura 39**

*Fotografía de la muestra MVK – 127.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, labor San José, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 729660

Norte 8077406

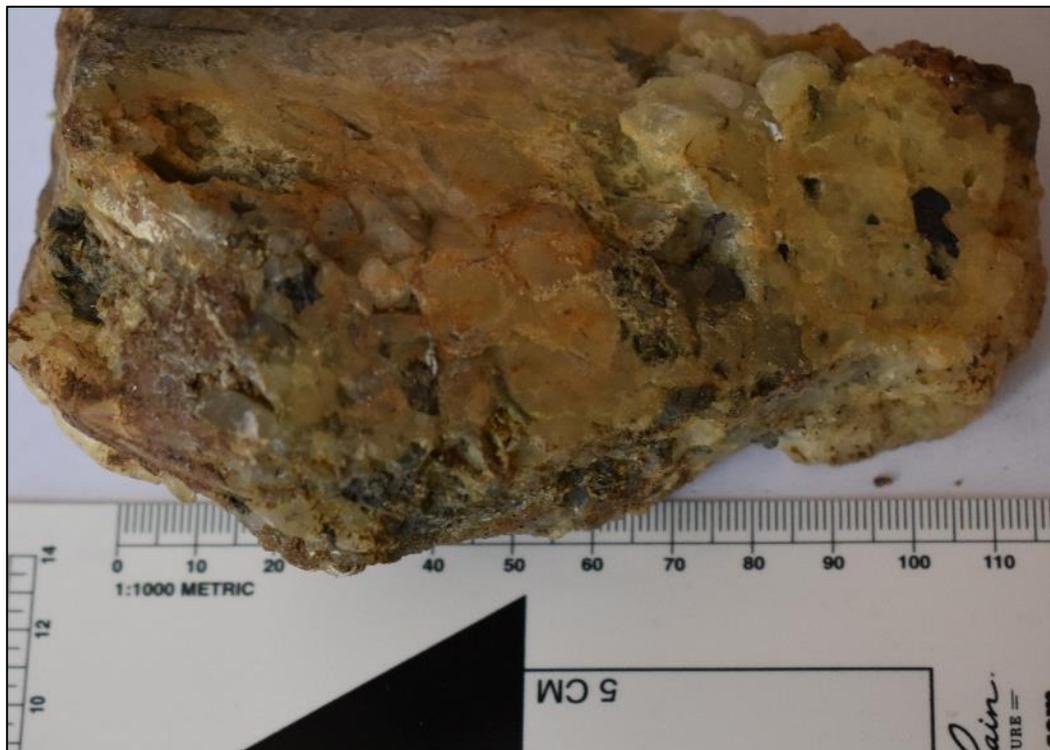
Cota 3668

La muestra obtenida está ubicada a 2 metros con respecto al punto de control topográfico 22S, la veta presenta un ancho de 0.10m, roca encajonante cuarcita, la muestra analizada corresponde a unas vetillas de cuarzo de potencias variables cementando a la arsenopirita y pirita, de la primera y segunda fase respectivamente.

**MVK – 128**

**Figura 40**

*Fotografía de la muestra MVK – 128.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, labor Añatuyani, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 730069

Norte 8077678

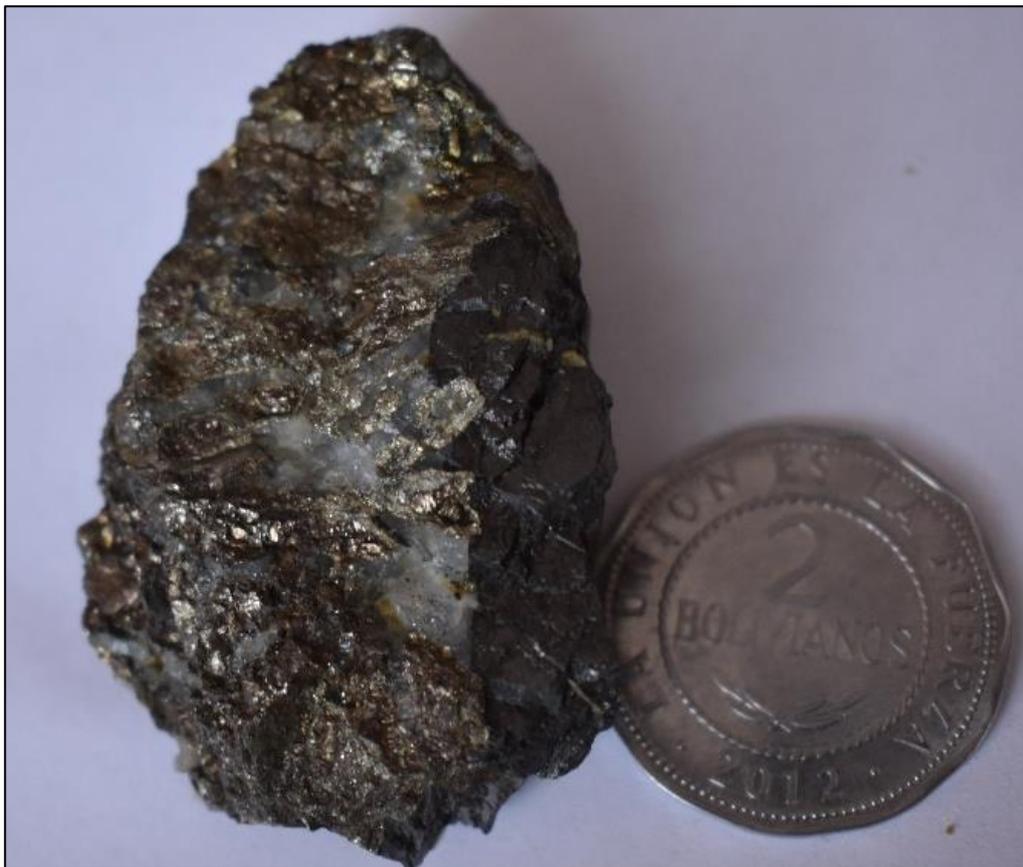
Cota 3661

La muestra fue obtenida a la altura del punto de control topográfico E - 10R, veta de cuarzo con inclusiones de wolframita, las cuales son visibles a simple vista, potencia de la veta 0.25m, encajonante cuarcita, la muestra analizada corresponde a veta de cuarzo masivo con contenido de wolframita de la primera etapa.

**MVK – 131**

**Figura 41**

*Fotografía de la muestra MVK – 131.*



Muestra proveniente de la Mina Kami – Veta San José, labor Añatuyani, la muestra obtenida está ubicada en las siguientes coordenadas WGS84:

Este 730024

Norte 8077653

Cota 3662

Descripción Muestra correspondiente al nivel Añatuyani, potencia de la veta 0.15m, roca encajonante cuarcita, la muestra presenta pirrotina y wolframita correspondientes a la primera etapa y venillas de cuarzo piritita correspondientes a la segunda etapa.

### 5.2.2 Descripción minerográfica

#### Figura 42

*Secciones pulidas de la Veta San José.*



#### MVK – 120

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con scheelita, wolframita, arsenopirita, piritita, pirrotina, calcopirita, estannina, siderita y cuarzo. La composición de la muestra se presenta a continuación con sus respectivas proporciones:

**Tabla 7.**

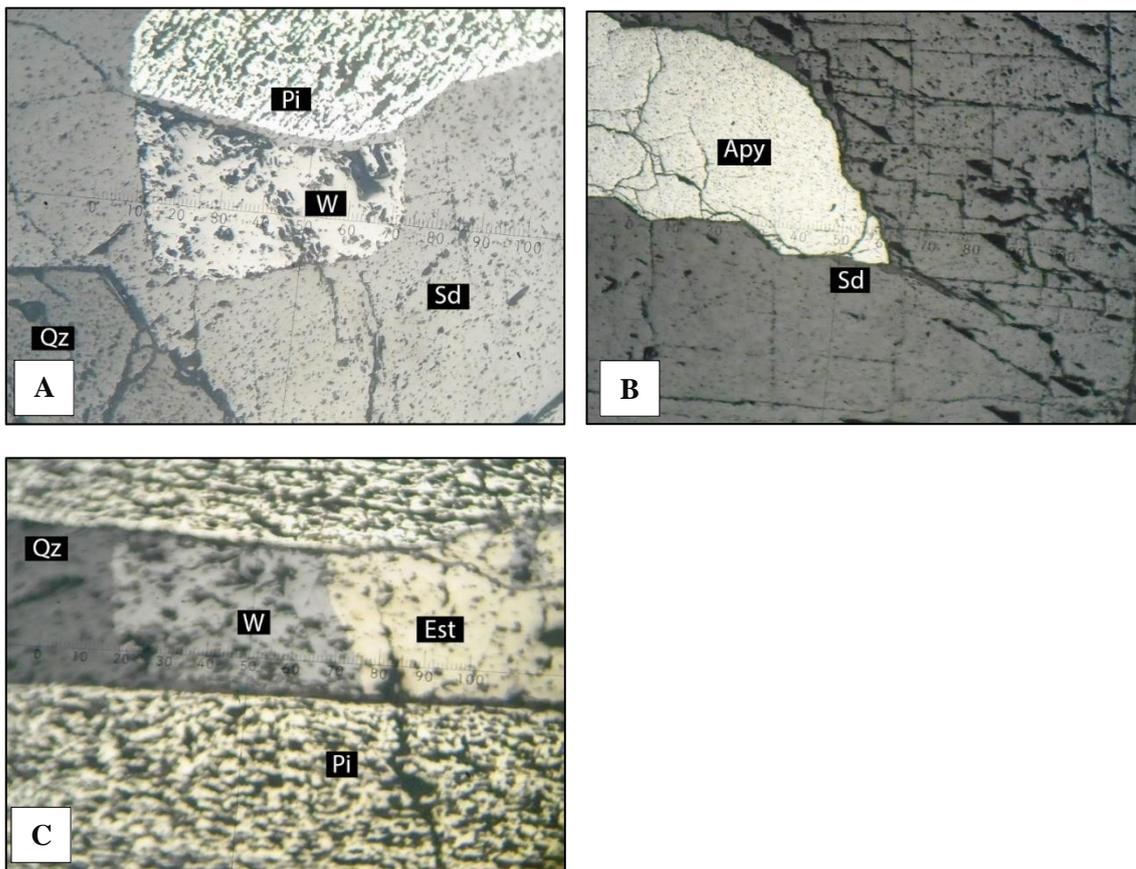
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 120.*

Mineral	Análisis modal
Scheelita	3%
Wolframita	2%
Pirita	15%
Arsenopirita	8%
Pirrotina	6%
Estannina	3%
Calcopirita	<1%
Siderita	25%
Cuarzo	38%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

*Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).*

**Figura 43**

*Microfotografía sección pulida MVK - 120.*



En NIIs, aumento 100 x, se observa: A.- Wolframita (W) de forma subhedral, junto al cuarzo (Qz) y a la pirrotina (Pi) cementados por siderita (Sd).



B.- Arsenopirita (Apy) cementada por siderita (Sd). C.- Estannina (Est) asociada a una vetilla de wolframita (W) con cuarzo, la cual atraviesa a la pirrotina (Pi).

**Tabla 8.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 120.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>La scheelita</b>	presenta formas subhedrales, se encuentra corroída por la siderita y el cuarzo. Miden en promedio 350 $\mu$ .
<b>La wolframita</b>	presenta cristales anhedrales y subhedrales, se encuentran corroídas por la siderita. En promedio miden 500 $\mu$ . También se encuentra como aisladas vetillas cortando a la pirrotina.
<b>La pirita</b>	presenta cristales subhedrales y anhedrales, generalmente se encuentran asociados a la pirrotina. Miden entre 70 y 500 $\mu$ .
<b>La arsenopirita</b>	Los cristales de Apy presentan formas subhedrales, ocasionalmente desarrollan formas rómbicas en sus extremos. Miden entre 100 $\mu$ y 1 cm.
<b>La pirrotina</b>	presenta formas anhedrales, ocasionalmente presenta una textura botroidal, se encuentra corroyendo a la pirita. Miden hasta 500 $\mu$ .
<b>La estannina</b>	presenta cristales anhedrales, se encuentran asociados a la wolframita y miden entre 100 y 150 $\mu$ .
<b>La calcopirita</b>	presenta formas anhedrales, miden hasta 50 $\mu$ y se encuentran diseminadas en la veta de cuarzo.
<b>La siderita</b>	se encuentra como vetillas cementando a los sulfuros.
<b>El cuarzo</b>	se encuentra como aislados cristales euhedrales hexagonales, los cuales miden hasta 300 $\mu$ . Y mayormente se encuentra como una veta masiva cementando a los sulfuros.

**MVK – 121**

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con arsenopirita, pirita, calcopirita, covelina, hidróxidos de hierro, cuarzo y calcedonia. La composición de la muestra se presenta a continuación con sus respectivas proporciones:

**Tabla 9.**

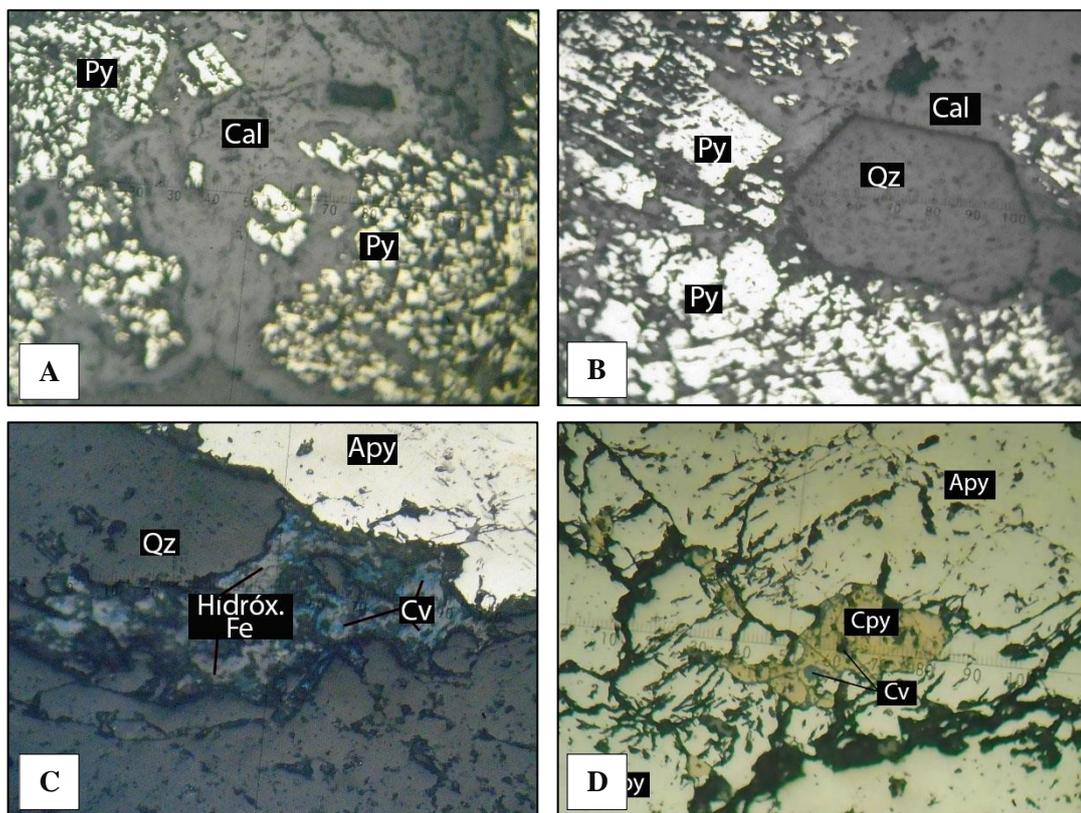
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 121.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Pirita	15%
Arsenopirita	7%
Calcopirita	2%
Covelina	2%
Hidróxidos de Hierro	1%
Cuarzo	35%
Calcedonia	38%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

*Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).*

**Figura 44**

*Microfotografía sección pulida MVK - 121.*



En NIIs, aumento 100 x, se observa: A.- Calcedonia (Cal) con textura colomorfa cementando a la pirita (Py). B.- Pirita (Py) fragmentada junto al cuarzo (Qz) de primera generación cementados por calcedonia (Cal).

En NIIs, aumento 200 x, se observa: C.- Covelina (Cv) asociada a los hidróxidos de hierro (Hidróx Fe), a su vez el cuarzo (Qz) corroe a la arsenopirita (Apy). D.- Covelina (Cv) reemplazando a la calcopirita (Cpy) y está a su vez corroe a la Arsenopirita (Apy).

**Tabla 10.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 121.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>La pirita</b>	presenta cristales anhedrales y subhedrales, generalmente se encuentran fragmentados y cementados por el cuarzo y la calcedonia.
<b>La arsenopirita</b>	presenta cristales subhedrales fracturados, miden entre 200 $\mu$ y 3mm.
<b>La calcopirita</b>	presenta formas anhedrales, se encuentra diseminada en las vetillas de cuarzo y corroyendo a la arsenopirita. Miden entre 10 y 300 $\mu$ .
<b>La covelina</b>	tiene formas anhedrales, se encuentra reemplazando.
<b>Hidróxidos de hierro</b>	presentan formas irregulares, son de origen secundario. Están corroyendo a la arsenopirita, pirita y están asociados a la covelina. Miden hasta 400 $\mu$ .
<b>Cuarzo</b>	Existen dos generaciones Qz: la primera compuesta por cristales euhedrales, los cuales miden en promedio 400 $\mu$ , y la segunda en forma de vetillas.
<b>La calcedonia</b>	se encuentra como vetillas, en muchos sectores desarrolla una textura colomorfa y está cementando a todos los sulfuros.

**MVK - 122**

La muestra analizada corresponde a una brecha hidrotermal mineralizada con pirita, hidróxidos de hierro y cuarzo. La composición de la muestra se presenta a continuación con sus respectivas proporciones:

**Tabla 11.**

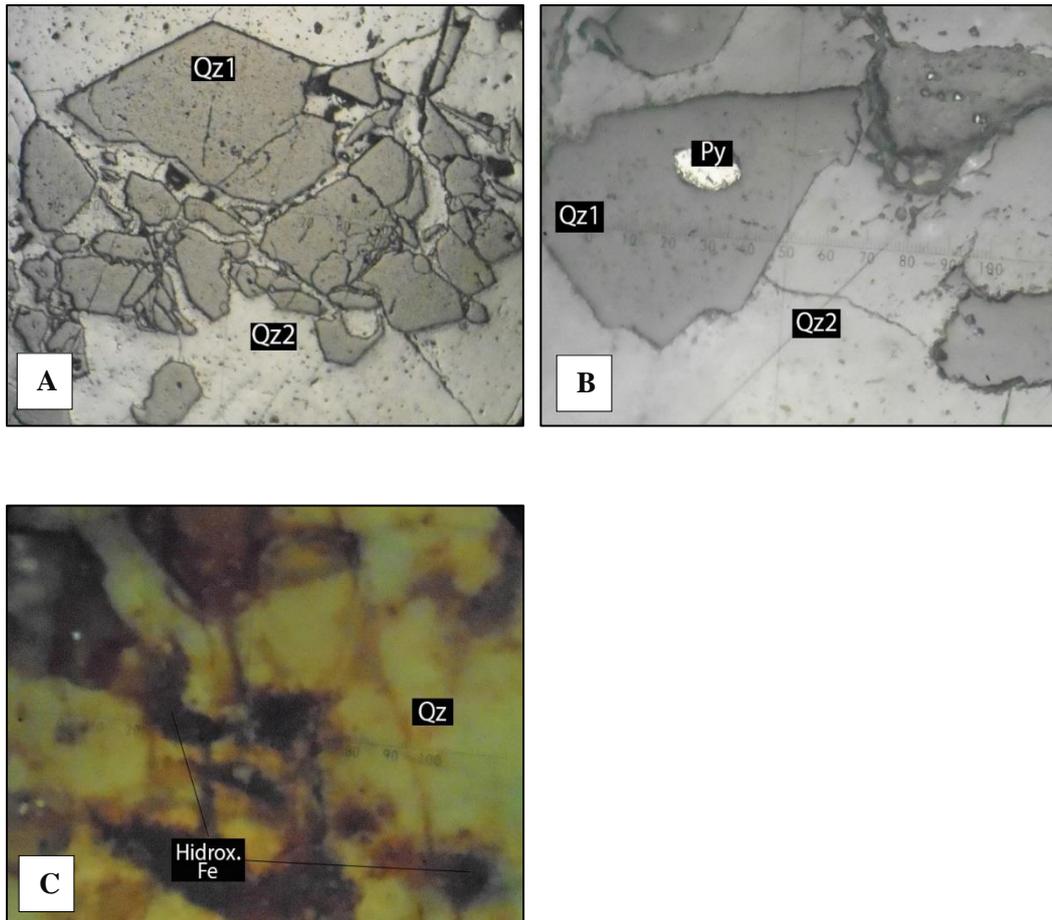
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 122.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Pirita	1%
Hidróxidos de Hierro	15%
Cuarzo	84%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

**Figura 45**

*Microfotografías de la sección pulida MVK - 122.*





En NIIs, aumento 100 x, se observa: A.- Cuarzo de primera generación (Qz1) brechado y cementado por el cuarzo de segunda generación (Qz2). B.- Pirita (Py) anhedral incluida en el cuarzo de primera generación (Qz1). C.- Hidróxidos de Hierro (Hidróx. Fe) rellenando fracturas y como impregnaciones en el cuarzo (Qz), en NXs, aumento 100 x.

**Tabla 12.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 122.*

<b>Descripción de la muestra</b>	
<b>La pirita</b>	presenta formas anhedrales redondeadas, se encuentran diseminadas en el cuarzo de primera generación. Miden en promedio 100 $\mu$ .
<b>Hidróxidos de hierro</b>	son de origen supergénico, producto de la alteración de la pirita, se encuentran rellenando fracturas y como impregnaciones en el cuarzo.
<b>Cuarzo:</b>	Se pueden apreciar dos generaciones de Qz: la primera compuesta por cristales brechados (fragmentados) con inclusiones de pirita y la segunda, compuesta por vetillas las cuales cementan a la primera generación.

**MVK – 123**

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con scheelita, pirita, arsenopirita, calcopirita, covelina, hidróxidos de hierro, cuarzo y calcedonia.

**Tabla 13.**

*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 123.*

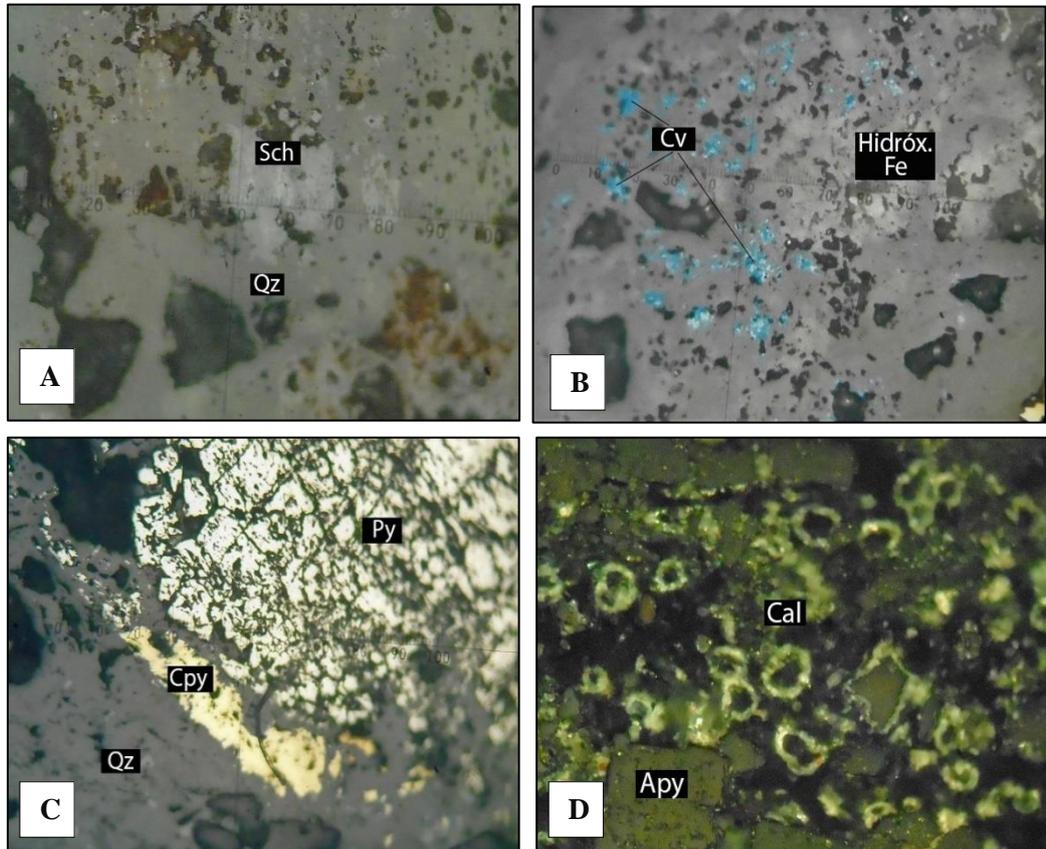
<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Scheelita	2%
Calcopirita	3%
Covelina	2%
Pirita	10%
Arsenopirita	5%
Hidróxidos de Hierro	15%
Cuarzo	25%
Calcedonia	38%

<b>Total</b>	<b>100%</b>
--------------	-------------

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

### Figura 46

*Microfotografía de la sección pulida MVK - 123.*



En NIIs, aumento 200 x, se observa: A.- Scheelita (Sch) de forma anhedral corroída por el cuarzo (Qz). B.- Covelina (Cv) reemplazando a la calcopirita, asociada a los hidróxidos de hierro, aumento 100 x. C.- Calcopirita (Cpy) y pirita (Py) corroídas por el cuarzo (Qz), aumento 100 x y D.- Arsenopirita (Apy) cementada por calcedonia con textura botroidal (Cal) en NXs, aumento 100 x.

**Tabla 14.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 123.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>La scheelita</b>	presenta formas anhedrales, se encuentra corroída por el cuarzo y la calcedonia. Miden hasta 400 $\mu$ .
<b>La calcopirita</b>	presenta formas anhedrales, están corroídas por el cuarzo y la calcedonia. En promedio miden 100 $\mu$ .
<b>La covelina</b>	tiene formas anhedrales, es de origen supergénico, producto del reemplazamiento de la calcopirita y se encuentran asociados a los hidróxidos de hierro.
<b>La pirita</b>	presenta cristales subhedrales, los cuales están fragmentados y corroídos por la calcedonia. Miden hasta 1mm.
<b>La arsenopirita</b>	presenta cristales anhedrales y subhedrales. Miden hasta 600 $\mu$ .
<b>Los hidróxidos de hierro</b>	tienen formas irregulares, en sectores se observa una textura colomorfa y son de origen supergénico.
<b>El cuarzo</b>	se encuentra como vetillas cementando a los sulfuros.
<b>La calcedonia</b>	se encuentra como vetillas cementando a los sulfuros, En sectores desarrollan una textura colomorfa.

**MVK – 124**

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con wolframita, estannina, pirrotina, pirita, arsenopirita, calcopirita y cuarzo.

**Tabla 15.**

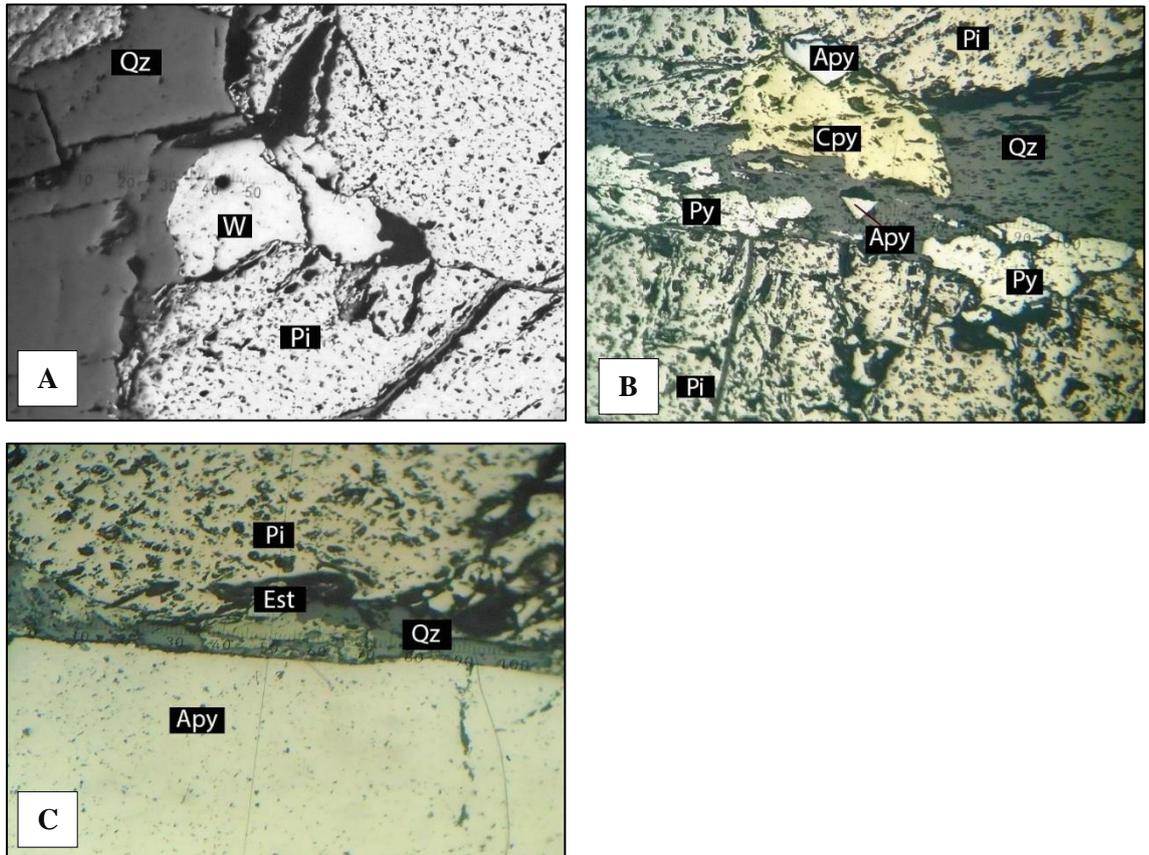
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 124.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Wolframita	2%
Estannina	1%
Pirrotina	70%
Pirita	10%
Arsenopirita	3%
Calcopirita	2%
Cuarzo	12 %
Total	100%

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

### Figura 47

*Microfotografías de la sección pulida MVK - 124.*



En NIIs, aumento 100 x, se observa: A.- Wolframita (W) de forma anhedral corroyendo a la pirrotina y ambas son corroídas por el cuarzo (Qz). B.- Cristales de Arsenopirita (Apy) y veta masiva de pirrotina (Pi) corroídas por pirrita (Py) y calcopirita (Cpy) y una vetilla de cuarzo (Qz) atravesando a los sulfuros. C.- Estannina (Est) corroída por una vetilla de cuarzo, en el contacto entre la pirrotina (Pi) y la arsenopirita (Apy).

**Tabla 16.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 124.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>La wolframita</b>	presenta formas anhedrales y subhedrales, está corroyendo a la arsenopirita y pirrotina, ocasionalmente contiene inclusiones de calcopirita. Miden hasta 1,2mm.
<b>La estannina</b>	presenta formas anhedrales, se encuentra corroída por el cuarzo y miden entre 100 y 500 $\mu$ .
<b>La pirrotina</b>	se encuentra como una veta masiva, se encuentra asociada a la arsenopirita y es corroída por los otros sulfuros.
<b>La piritita</b>	presenta formas anhedrales y subhedrales, corroe a la pirrotina y arsenopirita y a su vez, es corroída por la calcopirita. Miden en promedio 250 $\mu$ .
<b>La arsenopirita</b>	presenta cristales subhedrales y rómbicos ocasionalmente. Miden entre 100 $\mu$ y 1mm.
<b>La calcopirita</b>	presenta formas anhedrales, se encuentran corroyendo a los otros sulfuros. Miden en promedio 150 $\mu$ .
<b>El cuarzo</b>	se encuentra como vetillas cementando a los sulfuros y cortando a la veta de pirrotina.

**MVK – 125**

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con arsenopirita, piritita, hidróxidos de hierro y cuarzo.

**Tabla 17.**

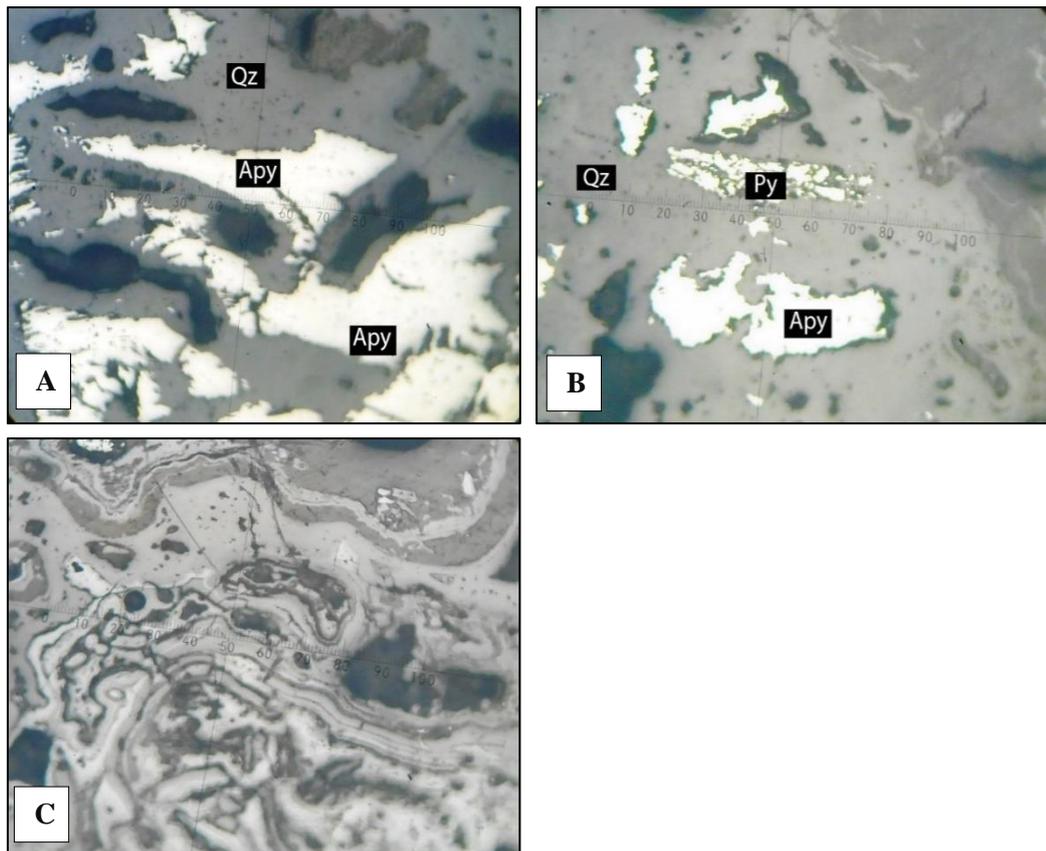
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 125.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Arsenopirita	12%
Piritita	5%
Hidróxidos de Hierro	63%
Cuarzo	20 %
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

### Figura 48

*Microfotografías de la sección pulida MVK - 125.*



En NIIs, aumento 100 x, se observa: A.- Cristales de arsenopirita (Apy) fragmentados y corroídos por cuarzo por el cuarzo hidrotermal (Qz). B.- Fragmentos de arsenopirita (Apy) y pirita (Py) corroídos por el cuarzo (Qz). C.- Hidróxidos de hierro con textura colomorfa.

**Tabla 18.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 125.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>La arsenopirita</b>	presenta cristales subhedrales, ocasionalmente rómbicos, se encuentran fragmentados. Miden en promedio 200 $\mu$ .
<b>La pirita</b>	presenta formas anhedrales, se encuentran bastante fracturados. Miden en promedio 100 $\mu$ .
<b>Los hidróxidos de hierro</b>	son de origen secundario y presentan una textura colomorfa.
<b>El cuarzo</b>	se encuentra como vetillas corroyendo y cementando a los sulfuros.

**MVK – 126**

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con arsenopirita, pirita, calcopirita, covelina, hidróxidos de hierro, cuarzo y calcedonia.

**Tabla 19.**

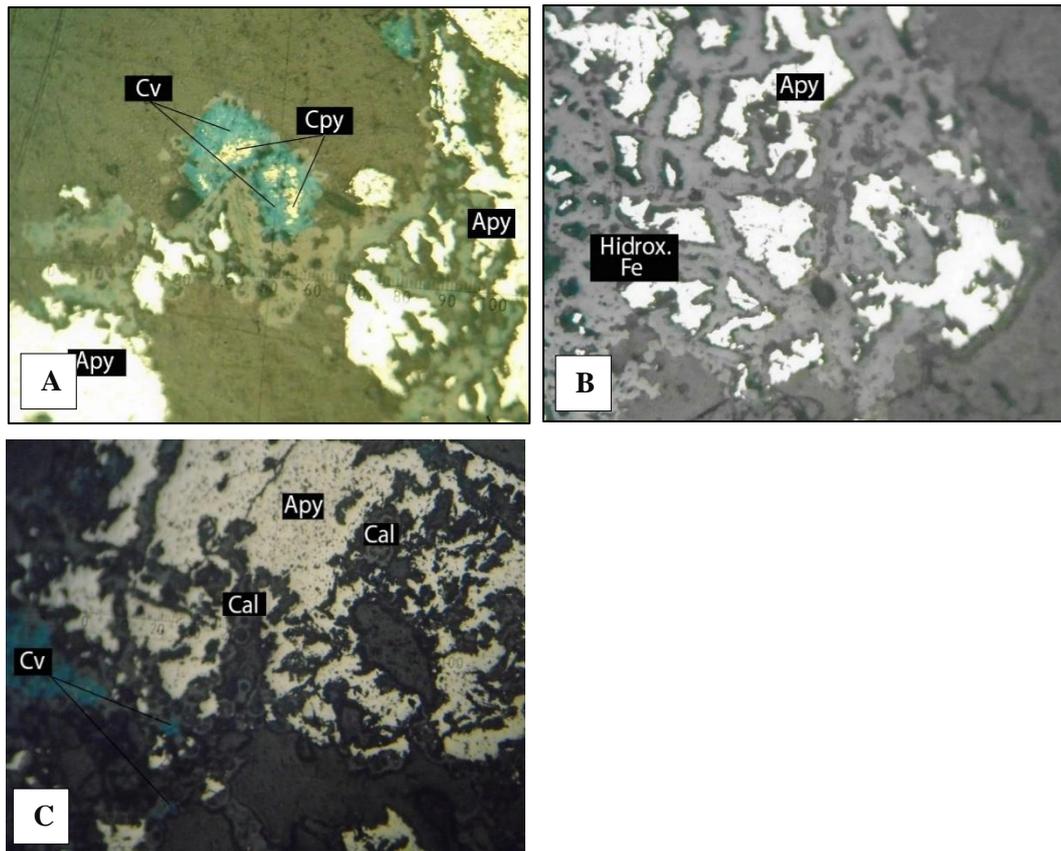
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 126.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Arsenopirita	10%
Pirita	4%
Calcopirita	2%
Covelina	4%
Hidróxidos de Hierro	10%
Cuarzo	40%
Calcedonia	30%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

### Figura 49

*Microfotografía de la sección pulida MVK - 126.*



En NIIs, aumento 100 x, se observa: **A.-** Calcopirita (Cpy) reemplazada por covelina (Cv). **B.-** Arsenopirita (Apy) fragmentada y corroída por hidróxidos de hierro (Hidróx. Fe). **C.-** Arsenopirita (Apy) cementada por covelina (Cv) y calcedonia (Cal).



**Tabla 20.**

*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 126.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>La arsenopirita</b>	presenta cristales anhedrales y subhedrales fracturados y corroídos. Miden en promedio 200μ.
<b>La pirita</b>	tiene formas anhedrales fragmentadas y corroídas. Miden hasta 100μ.
<b>La calcopirita</b>	presenta formas anhedrales, se encuentran siempre reemplazadas por la covelina. Miden hasta 100μ.
<b>La covelina</b>	presenta formas irregulares, es de origen secundario producto del reemplazamiento de la calcopirita.
<b>Los hidróxidos de hierro</b>	tienen una textura colomorfa se encuentran junto a la covelina cementando los fragmentos de arsenopirita y pirita. También se encuentran rellenando fracturas en el cuarzo.
<b>La calcedonia</b>	presenta una textura colomorfa y está corroyendo a los sulfuros. El cuarzo se encuentra como vetillas cementando a los sulfuros.

**MVK – 127**

La muestra analizada corresponde a una veta hidrotermal mineralizada con arsenopirita, pirita, calcopirita, covelina, cuarzo y calcedonia.

**Tabla 21.**

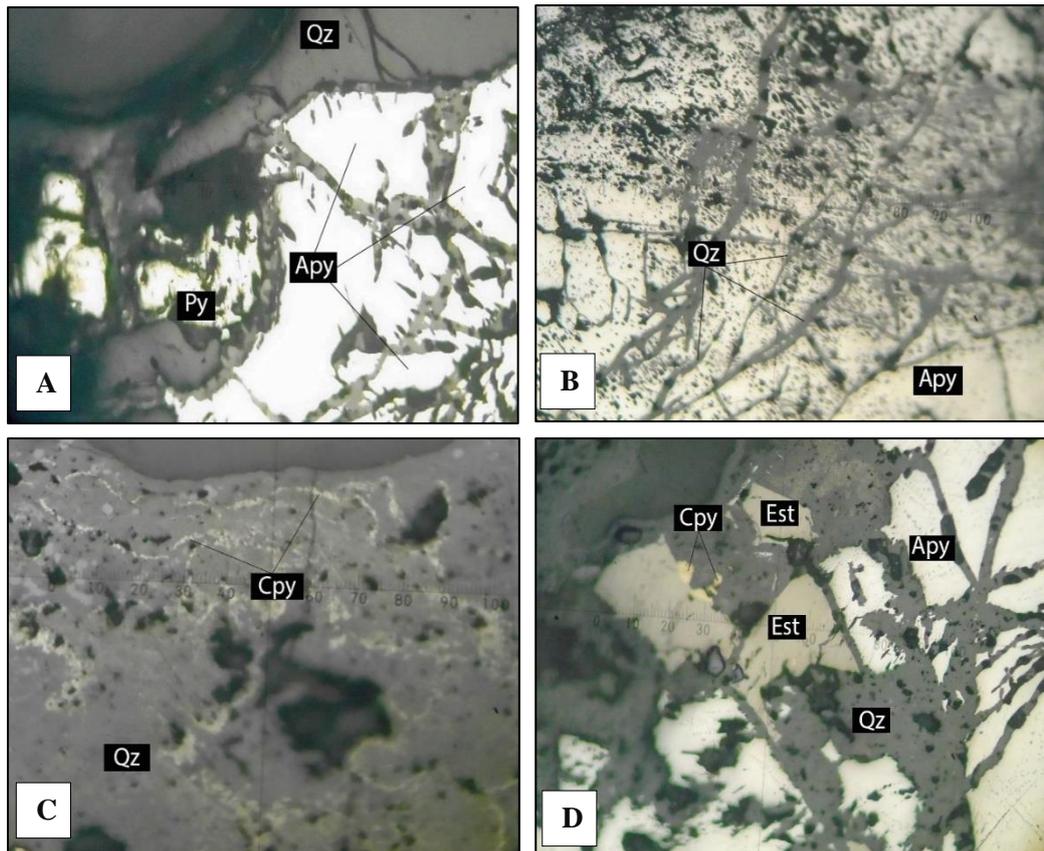
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 127.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Arsenopirita	84%
Calcopirita	2%
Estannina	<1%
Pirita	<1%
Cuarzo	15%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

### Figura 50

*Microfotografías de la sección pulida MVK - 127.*



En NIIs, aumento 100 x, se observa: A.- Cristales de arsenopirita (Apy) fragmentados y pirita (Py) corroídos por el cuarzo hidrotermal (Qz). B.- Vetillas de cuarzo (Qz) atravesando a la arsenopirita (Apy). C.- Microvetillas y cristales anhedrales de calcopirita (Cpy) diseminados en el cuarzo (Qz). D.- Cristales de estannina (Est) asociados a la calcopirita (Cpy) y arsenopirita (Apy) fragmentada, todos corroídos por el cuarzo hidrotermal (Qz).

**Tabla 22.**

*Descripción microscópica de la muestra MVK – 127*

	<b>Descripción microscópica</b>
<b>La arsenopirita</b>	se encuentra como una veta masiva.
<b>La calcopirita</b>	presenta formas anhedrales, generalmente se encuentra diseminada y como microvetillas en el cuarzo, miden en promedio 5 $\mu$ . Excepcionalmente un cristal de 100 $\mu$ .
<b>La estannina</b>	presenta cristales subhedrales fracturados, se encuentran asociados a la calcopirita. Miden hasta 300 $\mu$ .
<b>La pirita.</b>	presenta cristales anhedrales, los cuales corroen a la arsenopirita, su presencia es muy escasa. Miden hasta 200 $\mu$
<b>El cuarzo</b>	se encuentra como finas microvetillas multidireccionales, las cuales atraviesan a la arsenopirita.

**MVK – 128**

La muestra analizada corresponde a una veta de cuarzo hidrotermal mineralizada con wolframita, pirita y calcopirita.

**Tabla 23.**

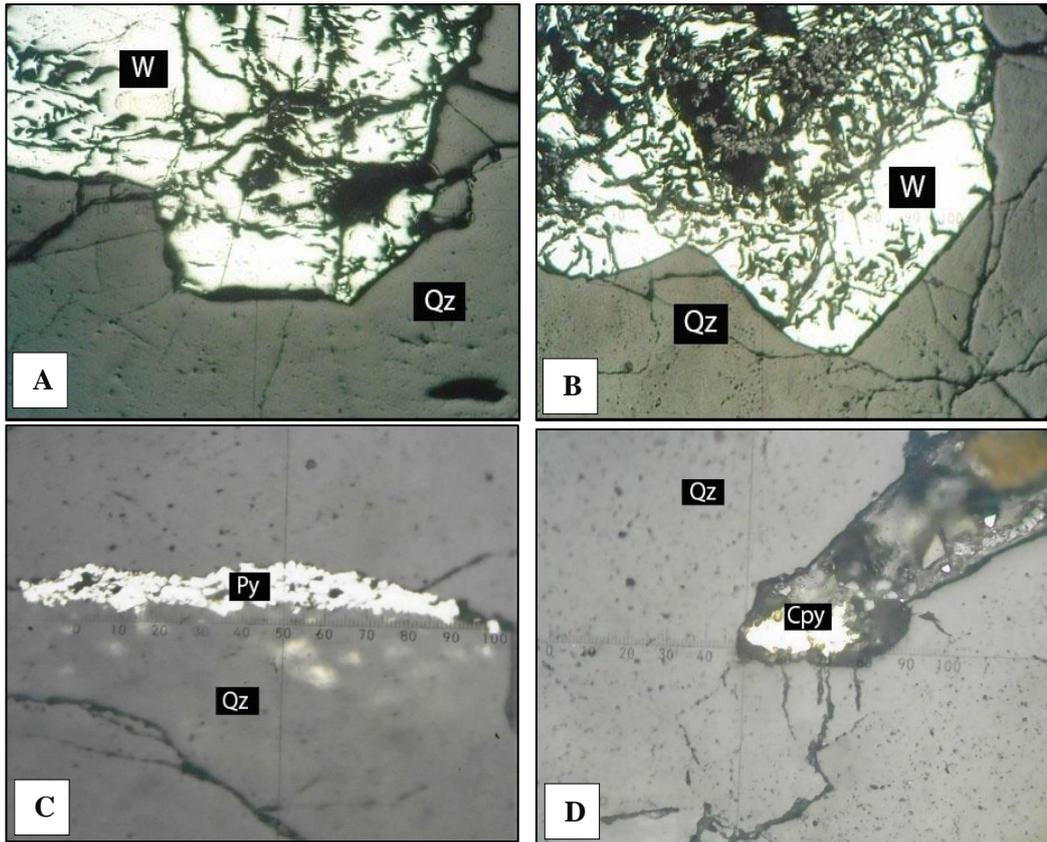
*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 128.*

<b>Mineral</b>	<b>Análisis modal</b>
Wolframita	15%
Pirita	2%
Calcopirita	<1%
Cuarzo	83%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Observación: La composición está indicada solo para la superficie pulida de la muestra (sección pulida).

### Figura 51

*Microfotografías de la sección pulida MVK – 128.*



En NIIs, se observa: **A y B.-** Cristales de wolframita (W) de forma subhedral, corroídos por el cuarzo (Qz). aumento 50 x. **C.-** Vetilla de pirita (Py), rellenando una fractura en el cuarzo (Qz). Aumento 200 x. **D.-** Calcopirita (Cpy) de forma anhedral, incluida en el cuarzo, aumento 200 x.

**Tabla 24.**

*Composición de la superficie pulida de la muestra MVK – 128.*

<b>Descripción microscópica de la muestra</b>	
<b>Wolframita</b>	los cristales de W son subhedrales, se encuentran corroídos por el cuarzo. Miden hasta 7mm.
<b>La pirita</b>	se encuentra como aisladas microvetillas, están rellenando fracturas en el cuarzo.
<b>La calcopirita</b>	tiene formas anhedrales, se encuentran incluidas en el cuarzo y su presencia es muy escasa. Miden en promedio 150 $\mu$ .
<b>El cuarzo</b>	se encuentra como una veta masiva, la cual está conteniendo a la wolframita, pirita y calcopirita.

### 5.2.3 Fluorescencia de rayos X

#### - **Descripción macroscópica de la muestra.**

Las muestras han sido identificadas con los nombres de “MVK-129 y MVK-130” perteneciente a muestras de material gravoso. La muestra MVK-129 presenta una coloración marrón amarillenta y la muestra MVK-130 presenta una coloración gris oscura.

#### - **Preparación de la muestra.**

Se tomó una parte de cada una de las muestras, mismas que fueron pulverizadas en mortero de ágata.

#### - **Condiciones de operación del equipo de FRX**

El equipo de Fluorescencia de Rayos X, (FRX) es marca Rigaku GeigerFlex, que trabaja con tubo de Cr a 50 Kv y 30mA. EL registro tiene dos partes, una es automática, corrida en un rango de 10° a 65°, para determinar la presencia de elementos pesados, y otra, es manual y en rangos puntuales que corresponden a elementos ligeros incluyendo a Ca y Ti.

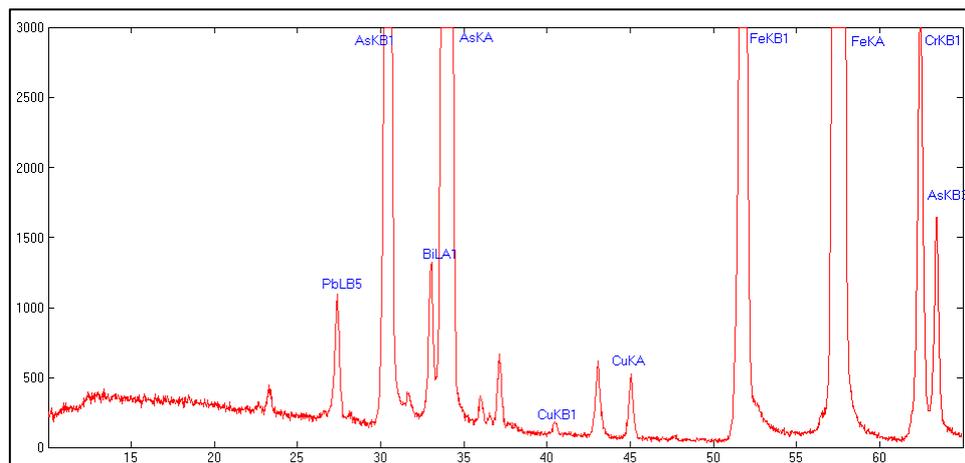
## - Resultados FRX

A continuación, se muestran el Espectro de Espectrometría, tanto para elementos pesados como para elementos ligeros, acompañados del correspondiente cuadro de identificación de los elementos químicos identificados, y ordenados de acuerdo con una estimación de abundancia relativa.

### MVK-129

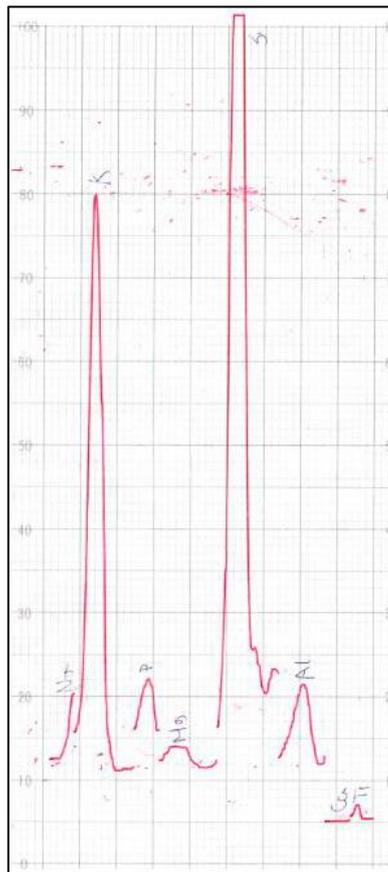
#### Figura 52

*FRX – fluorescencia de rayos X, (MVK – 129).*



**Figura 53**

*Registro de elementos ligeros incluyendo a Ca y Ti, obtenidas manualmente.*



**NOTA.** - El elemento Cr que aparece en el registro, corresponde al Tubo, no es posible detectar su presencia en la muestra.

**Tabla 25.**

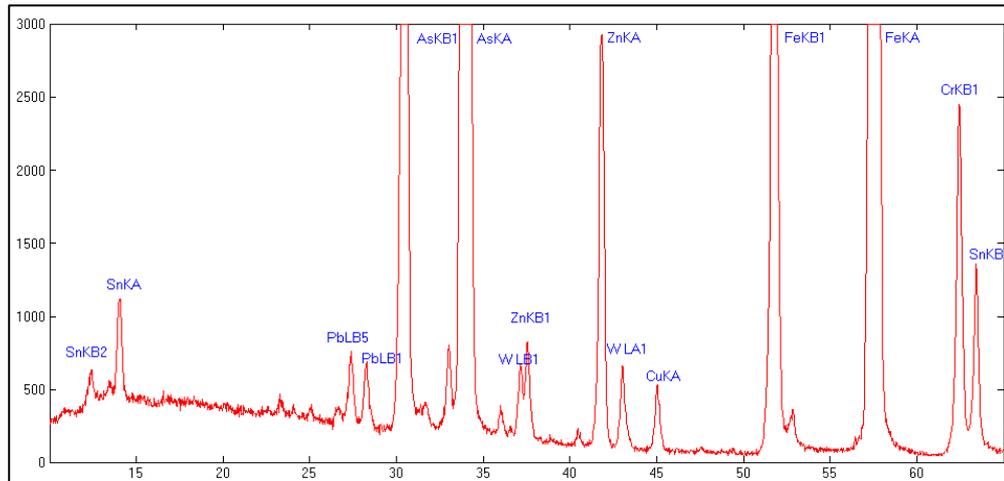
*Elementos identificados con FRX de la muestra MVK - 129*

<b>Elementos identificados</b>	
<b>a) Mayoritarios</b>	Fe, As, Si
<b>b) Minoritarios</b>	K
<b>c) Trazas</b>	Pb, Mg, P, Ti, Ca, Cu, Bi

## MVK-130

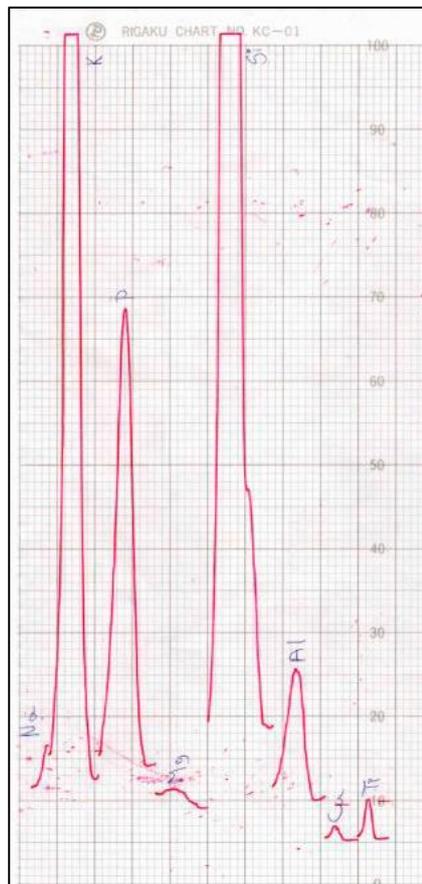
### Figura 54

Fluorescencia de rayos X - FRX, (MVK – 130).



### Figura 55

Registro de elementos ligeros incluyendo a Ca y Ti, obtenidas manualmente.



**NOTA:** El elemento Cr que aparece en el registro, corresponde al Tubo, no es posible detectar su presencia en la muestra.

**Tabla 26.**

*Elementos identificados con FRX de la muestra MVK - 130*

<b>Elementos identificados</b>	
<b>d) Mayoritarios</b>	Fe, Zn, Si, K, As
<b>e) Minoritarios</b>	P
<b>f) Trazas</b>	Ti, Ca, Al, Mg, Sn, W, Pb, Cu

Por los estudios realizados de FRX, de 2 muestras provenientes de la veta San José en el nivel de Añatuyani, se tiene los siguientes resultados:

En las figuras 52 y 54 se muestra los espectros de fluorescencia de rayos X que presentan a los elementos identificados en ambas muestras, y en las figuras 53 y 55 se puede apreciar los registros de los elementos ligeros obtenidos manualmente.

Sobre la base de las figuras (52,53,54 y 55) se ha elaborado una tabla general (ver tabla 24) que muestra los elementos presentes de las 2 muestra obtenidas, las cuales se encuentran ordenadas de acuerdo a su abundancia. Para la valoración estimativa de los contenidos se ha tomado en cuenta la intensidad de los picos registrados y a partir de ellos se han agrupado los elementos encontrados en 3 categorías denominadas:

**Mayoritarios:** cantidades mayores al 2%.

**Minoritarios:** cantidades entre 0,1 y 2%.

**Trazas:** cantidades bastante reducidas que son inferiores al 0,1%.

**Tabla 27.**

*Elementos identificados con FRX de las 2 muestras proveniente de la veta san José y estimación de contenidos*

<b>Elementos identificados</b>	
<b>Mayoritarios (&gt;2%)</b>	Fe, Zn, Si, K, As
<b>Minoritarios (0,1 – 2%)</b>	P, K
<b>Trazas (&lt;1%)</b>	Ti, Ca, Al, Mg, Sn, W, Pb, Cu, P, Bi

#### 5.2.4 Paragénesis de la Veta San José

En base a la caracterización mineragráfica y relaciones entre los minerales encontrados e identificados en las muestras provenientes de la veta San José, se propone la siguiente secuencia paragenética, en la cual fueron identificadas tres etapas o eventos mineralizantes (Etapa Temprana, Intermedia y tardía) y un evento supergénico.

**Figura 56**

*Secuencia paragenética propuesta para la veta San José.*

	(i)	TEMPRANA	INTERMEDIA	TARDIA	ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO	
					MENA PRIMARIA	OXIDACION
Wolframita	C	██████████				
Schelita	M	_____				
Arsenopirita	A	██████████				
Pirrotina	C	██████████				
Pirita	A		██████████			
Calcopirita	M		_____			
Estannina	M		_____			
Covelina	M				_____	
Siderita	M			_____		
Cuarzo hidr.	A		██████████	_____		
Calcedonia	M			██████████		
Hidróxido de Fe	C					██████████



En la figura 56, se puede apreciar que la pirrotita, la arsenopirita, seguido de la wolframita y scheelita fueron los primeros en depositarse; posteriormente como un evento intermedio se depositó el cuarzo (I) de manera abundante, pirita de una abundancia moderada, estannina y calcopirita, estas dos últimas se dan con una abundancia leve; en la tercera o etapa tardía se puede observar el cuarzo hidrotermal (II), siderita ambos con una abundancia leve y calcedonia con una abundancia moderada. Por último, como un enriquecimiento secundario se puede apreciar la covelina como enriquecimiento secundario de la mena primaria e hidróxidos de Fe. Producto de la oxidación por aguas meteóricas. (1) se refiere a la abundancia de los minerales en la veta; A.- abundante, C.- común o moderado, M.- menor.

#### - **ETAPA TEMPRANA**

formada por pirrotina (Pi), Arsenopirita (Apy), Wolframita (W) y Scheelita (Sch); La Pi presenta formas anhedrales, ocasionalmente presenta una textura botroidal y en sectores se presenta como una veta masiva asociada a la arsenopirita miden en promedio 250 $\mu$ ; la Apy se presenta cristales subhedrales, anhedrales y rómbicos ocasionalmente, se encuentran fracturados y corroídas miden entre 100 $\mu$ , 200 $\mu$  y 1mm; la W se presenta como cristales anhedrales y subhedrales, así mismo se encuentra como vetillas aisladas cortando a la Pi, miden entre 500 $\mu$  y 1,2mm y la Sch se presenta en formas anhedrales y subhedrales, miden en promedio 350 $\mu$ .

#### - **ETAPA INTERMEDIA**

La etapa intermedia se caracteriza por contener abundante cuarzo (Qz), Pirita (Py), Estannina (Est) y Calcopirita (Cpy). El Qz se presenta de manera



abundante en forma de cristales euhedrales hexagonales, también se presentan como cristales brechados (fragmentados) con inclusiones de pirita y mayormente se encuentra como una veta masiva cementando a los sulfuros, miden en promedio  $400\mu$ ; la Py tiene formas anhedrales fragmentadas y subhedrales cementados por el cuarzo, miden en promedio  $100\mu$ ; la Est presenta cristales anhedrales, se encuentran asociados a la wolframita y calcopirita, miden entre  $100$  y  $200\mu$  y la Cpy presenta formas anhedrales, también se encuentra diseminada y como microvetillas en el cuarzo, se encuentran reemplazadas por la covelina, miden en promedio  $100\mu$ .

#### - **ETAPA TARDIA**

Esta etapa está caracterizada por calcedonia (Cal), Siderita (Sd) y cuarzo (Qz) en menor proporción a comparación de la etapa intermedia. La calcedonia se encuentra como vetillas, en muchos sectores desarrolla una textura colomorfa y está cementando a todos los sulfuros; la Sd en promedio miden  $500\mu$ , se encuentra como aisladas vetillas cortando a la pirrotina y cementando a los sulfuros.

#### - **ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO**

Enriquecimiento secundario de la mena primaria, la covelina (Cv) presenta formas irregulares, producto del reemplazamiento de la calcopirita (Cpy).

Oxidación, los hidróxidos de hierro (Hidróx. Fe) tienen formas irregulares, en sectores se observa una textura colomorfa y son de origen supergénico, se encuentran junto a la covelina cementando los fragmentos de arsenopirita y pirita, también se encuentran rellenando fracturas en el cuarzo y como impregnaciones en el cuarzo.



### 5.2.5 Zoneamiento

La zona de mayor metamorfismo que es el sector donde se encuentra la mineralización de tungsteno, éste probablemente se encuentre justo por encima del cuerpo ígneo, mientras que la periferie o zonas más alejadas corresponde a la mineralización de vetas de estaño, conformando así una zonación lateral con respecto al probable cuerpo ígneo. Es de hacer notar que esta mineralización presenta características diferentes a los otros yacimientos existentes en las prolongaciones Norte y Sur con respecto al área de estudio.

En el Norte la mineralización se encuentra dentro del cuerpo intrusivo o cercano al contacto con las rocas sedimentarias a las que intruye. Y hacia el Sur, la mineralización está dentro de pequeños stocks subvolcánicos.

## 5.3 DISCUSION

De acuerdo a la integración de los parámetros geológicos que se analizaron en la presente investigación producto del cartografiado geológico a escala local (1/3000), cuyo objetivo fue definir sus características litológicas, mineralógicas, identificar las estructuras y sus asociaciones texturales, así también se realizó la descripción macroscópica de las rocas encajonantes y estas fueron complementadas con análisis petrográfico en secciones delgadas, de la misma se realizó estudios minerográficos y análisis químicos de las muestras obtenidas de la veta San José mediante un muestreo orientado.

A partir del cartografiado geológico realizado a una escala 1/3000 se estableció que existen 2 sistemas de vetas principales presentes en el yacimiento Kami por lo observado en los niveles inferiores se aprecia la continuidad de las estructuras hacia



profundidad (Martínez, 1973), el estudio de inclusiones fluidas del cuarzo hidrotermal permitió, sugerir que la veta San José se formó con altas temperaturas de homogenización que van de 401° a 450°, el cual corresponde a un yacimiento hipotermal. Los fluidos mineralizantes de la veta San José se asemejan a las temperaturas de formación de las vetas del depósito de chicote grande que presentan temperaturas de 335° - 530°C (Thorn, 1988), sin embargo presentan temperaturas superiores a los yacimientos de tungsteno bolivianos que van de 300° a 400°C (Kelly & Turneure, 1970), esto es probablemente un reflejo de la naturaleza fuertemente magmática de los fluidos que formaron los depósitos.

En base a los resultados obtenidos, se pudo establecer la secuencia paragenética de la veta San José como se muestra en la figura 51. La primera etapa resalta por la abundante presencia de arsenopirita, pirrotina y de wolframita, schelita en menor proporción, una etapa intermedia caracterizado por la abundante presencia del cuarzo I, pirita y con una abundancia leve de estannina y calcopirita; en la etapa tardía se puede observarse el cuarzo hidrotermal (II), siderita ambos con una abundancia leve y calcedonia con una abundancia moderada. Por último, como un enriquecimiento secundario se puede apreciar la covelina como enriquecimiento secundario de la mena primaria e hidróxidos de Fe. Producto de la oxidación por aguas meteóricas, se encontró que los minerales abundantes que conforma la veta San José son el cuarzo, la pirrotina y arsenopirita al igual que en el yacimiento de Chicote Grande, que está próximo al depósito de Kami (Ahlfeld, 1942), así mismo cabe mencionar que en la etapa tardía en ambos casos se formó la siderita.



## VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la caracterización geológica el depósito de Kami se encuentra emplazada en rocas ordovícicas metamorizadas de la Formación Amutara equivalente a la Formación Sandia en Perú, la mina Kami es uno de los principales productores de tungsteno en Bolivia, litológicamente está compuesto por areniscas, cuarcitas y pizarras. Los resultados del estudio de inclusiones fluidas de 2 muestras del cuarzo hidrotermal sugieren que la veta San José se habría formado con temperaturas de homogenización de (Th) que van de 401 a 450 °C el cual corresponde a un yacimiento hipotermal. De acuerdo a los trabajos de mapeo geológico se definió dos sistemas de vetas preferenciales, el primer sistema con una orientación de N25-30E y el segundo sistema presenta una orientación de N45-50E, la mineralización de las vetas y particularmente de la veta San José está dominada por cuarzo, arsenopirita, calcopirita, pirrotina, wolframita y en cantidades escasas la scheelita.
- La secuencia paragenética de la veta San José, muestran 3 fases: la primera fase o fase mineralizante está dada por Arsenopirita + Pirrotina + Wolframita + Schelita (en orden de abundancia respectivamente), la segunda fase o etapa intermedia está dada por cuarzo + piritita + calcopirita y estannina, en esta fase los minerales de mayor abundancia son el cuarzo y piritita, la fase o etapa tardía se encuentra conformada por la calcedonia como mineral predominante que se encuentra como vetillas y así mismo se encuentra cementando a los sulfuros y como minerales de enriquecimiento secundario se tiene la covelina, producto de la alteración de la calcopirita y los hidróxidos de hierro.



## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de inclusiones fluidas, petrominerográficos y geoquímica de todas las vetas existentes en el yacimiento Kami, los estudios mencionados aportarán para poder entender mucho mejor la génesis del yacimiento, así mismo continuar con el estudio de análisis estructural detallado en el sistema de vetas de la mina Kami.
- Realizar el mapeo geológico superficial y subterráneo detallado de todas las labores en interior mina que se tiene en el yacimiento Kami y tener un mejor entendimiento del comportamiento de las estructuras hacia profundidad.



## VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ahlfeld, F. (1942). It is on the edge of the Amazon basin and the Ayopaya river , a tributary of. *Economic Geology*, 40, 394–407.
- ATSDR. (2016). *Tungsteno* (Tungsten).  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts186.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts186.html)
- Chirif, L. (2010). *Microscopia Óptica de Minerales* (INGEMMET). INGEMMET
- Color y pleocroísmo*. (n.d.). Retrieved March 23, 2024, from  
<https://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/color-y-pleocroismo.html>
- Craig, J. R., & Vaughan, D. J. (1994). *ORE MICROSCOPY AND ORE PETROGRAPHY Second Edition*.
- Crespo, P. G. (2022a). *Color y pleocroísmo*. 2022.  
<https://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/color-y-pleocroismo.html>
- Crespo, P. G. (2022b). *Color y pleocroísmo*. Atlas de Mineralogía Optica.  
<https://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/color-y-pleocroismo.html>
- Crespo, P. G. (2022c). *El microscopio petrográfico*. Atlas de Mineralogía Optica.  
<https://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/el-microscopio-petrografico.html>
- Díaz Martínez, E., Acosta, H., Rodríguez, R., Carlotto, V., & Cárdenas R., J. (1999). La glaciación del límite Ordovícico-Silúrico en el Altiplano de Perú: evidencias e implicaciones tectónicas. In *Geogaceta* (Vol. 26, pp. 23–26).
- El Diario. (2017). *Wolframio, el mineral de creciente demanda internacional que la Junta ignora en León*. Ileon. [https://ileon.eldiario.es/economia/wolframio-mineral-creciente-demanda-internacional-junta-ignora-leon-castilla-y-leon-plan-minero-mineria-region-leonesa-region-de-leon-pais-leones\\_1\\_9453767.html](https://ileon.eldiario.es/economia/wolframio-mineral-creciente-demanda-internacional-junta-ignora-leon-castilla-y-leon-plan-minero-mineria-region-leonesa-region-de-leon-pais-leones_1_9453767.html)
- Glosarios. (2023). *Intercrecimiento*. <https://glosarios.servidor-alicante.com/geologia/intercrecimiento>
- Hernandez, R., Fernandez Collado, C., & Baptisa Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*.
- Ingemmet. (2023a). *Estudios Mineragráficos*. 2023.



- [https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/mineragraficos\\_pt](https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/mineragraficos_pt)
- Ingemmet. (2023b). *Servicios/Productos*. 2023.  
[https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/servicios\\_productos\\_pm](https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/servicios_productos_pm)
- INGENIEROS, F. (2024). *Estudio Mineragráfico con Microscopio de Polarización. (Briqueta pulida)*. <https://faingenieros.com/#!/-estudio-mineragrafico-con-microscopio-de-polarizacion-briqueta-pulida/>
- Ixer, R. A., & Duller, P. R. (2015). *Virtual Atlas of Opaque and Ore Minerals*.  
[http://www.atlas-of-ore-minerals.com/ix\\_t\\_1.htm](http://www.atlas-of-ore-minerals.com/ix_t_1.htm)
- Kelly, W. M. C., & Turbneure, F. S. (1970). Mineralogy, paragenesis and geothermometry of the tin and tungsten deposits of the Eastern Andes, Bolivia. *Economic Geology*, 65(6), 609–680. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.65.6.609>
- Korzeniewski, L. I. (2002). *SEGEMAR SERVICIO GEOLOGICO MINERO ARGENTINO Inclusiones fluidas aplicadas a la exploración minera*.
- Martinez, W., & Monge, R. (n.d.). *Estratigrafía del Paleozoico en la Cordillera Oriental al Sureste del Perú, frontera Perú- Bolivia*. 143–159.
- Mindat.org, & Mineralogía, I. H. de. (2024). *Definition of polished section*.  
[https://www.mindat.org/glossary/polished\\_section](https://www.mindat.org/glossary/polished_section)
- Minerlab. (2022). *Elaboración de Sección Delgada o Pulida*. 2022.  
<http://www.minerlablimitada.com/servicios/elaboracion-de-seccion-delgada-o-pulida/>
- Morishita, Y., & Nishio, Y. (2021). Ore genesis of the takatori tungsten–quartz vein deposit, japan: Chemical and isotopic evidence. *Minerals*, 11(7), 765.  
<https://doi.org/10.3390/min11070765>
- Mundo, B. N. (2014). *Tungsteno, el metal ideal para iluminar y devastar*. 1–4.  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/07/140714\\_elementos\\_tungsteno\\_wolf\\_ramio\\_finde\\_dv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/07/140714_elementos_tungsteno_wolf_ramio_finde_dv)
- Mundo Microscopio. (2000). *Partes del microscopio*. Partes Del Microscopio Las.  
<https://www.mundomicroscopio.com/partes-del-microscopio/>
- NEIL S. T., H. G. (2016). *FACULTAD DE INGENIERIA CARACTERIZACION*



*MINERAGRAFICA DE LAS VETAS IACA Y.*

- PHS | ATSDR. (2016). *Resumen de Salud Pública: Tungsteno (Tungsten)*.  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs186.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs186.html)
- Rafino, M. (2019). *Microscopio: Concepto, Invención, Tipos y Partes*. 24 De Febrero.  
<https://concepto.de/microscopio/>
- Reynolds, T. J. (1994). Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals. In  
*Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals*.  
<https://doi.org/10.2110/scn.94.31>
- Riley. (2008). Microscopía Básica – Una Destreza Importante para Fitopatólogos. *Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2008-0715-01>
- scheelita*. (n.d.). Retrieved April 21, 2024, from  
<https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/41602429/helvia/aula/archivos/repositorio/0/74/html/cristamine/fichas/scheelita/scheelita.htm>
- Segal, S., & Crosta, S. (2013). Atlas de asociaciones paragenéticas de menas de la República Argentina. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 0(172), 115.
- Suarez, R., & Diaz, E. (1996). *Léxico estratigráfico de Bolivia*.  
[https://www.researchgate.net/publication/260135787\\_Lexico\\_estratigrafico\\_de\\_Bolivia](https://www.researchgate.net/publication/260135787_Lexico_estratigrafico_de_Bolivia)
- Subandina, Z. (2022). *Escuela politécnica nacional*.
- Symtek. (2020). *Fluorescencia de rayos X - Symtek*. <https://www.symtek.com/productos-para-el-analisis-de-materiales/fluorescencia-rayos-x/>
- Telos World. (2021). *Minerales estratégicos aplicaciones del wolframio o tungsteno*.  
<https://telosworld.com/aplicaciones-del-wolframio-tungsteno/>
- Thorn, P. (1988). A tungsten vein deposit in Bolivia. *Geology Today*, 4(5), 176–178.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.1988.tb00833.x>
- Thorn, P. G. (1988). Fluid inclusion and stable isotope studies at the Chicote Tungsten deposit, Bolivia. *Economic Geology*, 83(1), 62–68.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.1.62>



- Tungco. (2017). *7 hechos importantes sobre el carburo de tungsteno*.  
<https://www.tungco.com/es/blog/need-know-7-important-facts-tungsten-carbide/>
- U.C.M. (2013). *TEXTURAS DE INTERCRECIMIENTO*. ATLAS DE ROCAS ÍGNEAS.  
<https://petroignea.wordpress.com/esta-es-la-segunda-pagina/texturas-en-rocas-plutonicas/texturas-de-intercrecimiento/>
- Weltje, G. J., & Tjallingii, R. (2008). Calibration of XRF core scanners for quantitative geochemical logging of sediment cores: Theory and application. *Earth and Planetary Science Letters*, 274(3–4), 423–438.  
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.07.054>
- Wolfram: Eigenschaften & Verwendung / Plansee*. (n.d.). Retrieved April 21, 2024, from  
<https://www.plansee.com/es/materiales/tungsteno.html>
- wolframita*. (n.d.). Retrieved April 21, 2024, from  
<https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/41602429/helvia/aula/archivos/repositorio/0/74/html/cristamine/fichas/wolframita/wolframita.htm>
- Xie, X. F., Xie, Z. M., Liu, R., Fang, Q. F., Liu, C. S., Han, W. Z., & Wu, X. (2022). Hierarchical microstructures enabled excellent low-temperature strength-ductility synergy in bulk pure tungsten. *Acta Materialia*, 228.  
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117765>
- Yáñez Pezzopane, C. (2022). Documentos sobre inclusiones fluidas XI: exploración de depósitos pórfido cupríferos utilizando petrografía de inclusiones fluidas, en el distrito minero Andacollo, Chile. In *Braz Dent J.* (Vol. 33, Issue 1).



## ANEXOS

- 01 – Mapa de ubicación
- 02 – Mapa geológico regional
- 03 – Mapa geológico local
- 04 – Sección geológica A – A'
- 05 – Mapa subterráneo del socavón Añatuyani



**TMB SERVICIOS MINEROS S.R.L.**  
NIT.:498666022  
ORURO- BOLIVIA

Oruro – 20 de octubre de 2022

Walter Ernesto Godiel Turpo  
Geólogo junior de Mina  
TMB Servicios Mineros S.R.L.

**ASUNTO: CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE LA INFORMACION DE LA  
MINA KAMI, BOLIVIA**

Por medio de la presente, yo Ing. Edwin Elvis Soliz Díaz con C.I. N° 3532656 Lp., en calidad de Gerente de Operaciones de la empresa TMB Servicios Mineros S.R.L. y siendo la empresa que brinda asesoría técnica a la Cooperativa Minera "El Progreso Kami" R.L, otorgo la presente carta de consentimiento para el uso de la información pública de la mina Kami, para los fines del proyecto de investigación.

El único fin de uso de la información de la Cooperativa Minera "El Progreso Kami" R.L. será para el desarrollo de la tesis de Pre — grado denominado **"CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA DEFINIR LA PARAGÉNESIS DE LA VETA SAN JOSÉ DEL YACIMIENTO KAMI, COCHABAMBA – BOLIVIA"** para optar el grado de ingeniero Geólogo en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

Atentamente

  
Edwin Elvis Soliz Díaz  
Gerente de operaciones  
TMB Servicios Mineros S.R.L.



Dirección:  
Cochabamba, La Plata y  
Presidente Montes N° 716

Cel.: 73714098



**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo Walter Ernesto Godiel Turpo  
identificado con DNI 70500353 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

“Caracterización geológica para definir la paragénesis de la veta San José del yacimiento Kami, Cochabamba - Bolivia”

” Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 31 de Mayo del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Walter Ernesto Godiel Turpa  
identificado con DNI 70500353 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"Caracterización geológica para definir la paragenesis  
de la veta San José del yacimiento Kami, Cochabamba - Bolivia"  
" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 31 de Mayo del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella