



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**

**METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE ESTRUCTURAS**

**MINERALIZADAS EN LA CONCESIÓN SAN JUAN CIEN-LAMPA-**

**PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. OBAL ABIMAELE LEONARDO ZEA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE EST  
RUCTURAS MINERALIZADAS EN LA CON  
CESIÓN SAN JUAN CIEN-LAMPA-PUNO**

AUTOR

**OBAL ABIMAELEONARDO ZEA**

RECuento DE PALABRAS

**13777 Words**

RECuento DE CARACTERES

**83288 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**84 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.3MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 7, 2024 4:29 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 7, 2024 4:30 PM GMT-5**


● **7% de similitud general**

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% 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 20 palabras)

  
ROGER GONZALES  
DISEÑO



  
COORDINADOR INVESTIGACIÓN  
E.P. INGENIERÍA GEOLOGICA

Resumen



## DEDICATORIA

*Ante todo, agradezco a Dios por ser mi guía y llevarme de la mano en cada momento de mi vida, por darme fuerza, salud y ganas de seguir adelante y alcanzar mis metas. Gracias a mi Madre Juana y Padre Donato por sus consejos, comprensión, tolerancia, paciencia, cariño, amor y, sobre todo, por brindarme su apoyo y estar presente cuando más los he necesitado. Muchas gracias por su apoyo, a Wil, Ofelia y Eliana, y por ser una parte tan importante de nuestra hermosa familia.*

***Obal Leonardo***



## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por guiar mis pasos, permitiéndome aprender de mis errores con firmeza y tranquilidad; a mis queridos padres Donato y Juana, quienes me enseñaron con su ejemplo, perseverancia y comprensión a que sea consecuente con mis ideales y firme con mis decisiones. De igual manera agradezco a la Empresa Minera San Juan Cien De Puno S.M.R.L, por permitirme utilizar datos geológicos; así mismo, mi mayor muestra de gratitud y agradecimiento al gerente general Sr. Andrés Checca Vilca; por su apoyo con sus ideas y comentarios para el desarrollo correcto de este proyecto de investigación.

Agradezco a la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA (EPIG) de la “UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO” por brindarme mi formación profesional. A todos los docentes de la EPIG que me han transmitido sus conocimientos y experiencias que contribuyeron a mi aprendizaje en esta maravillosa carrera universitaria, gracias por la enseñanza de los ingenieros.

También agradecer a todos mis compañeros y amigos que supieron darme ánimos para seguir adelante y concluir este trabajo de investigación.

Un especial agradecimiento al Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos (+), quien con bastante entusiasmo me encamino a realizar este proyecto. A mi director de tesis Dr. Roger Gonzales Aliaga, por su apoyo en la redacción y exigencia del presente trabajo de investigación, hasta su culminación.



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Problema general.....	15
1.2.2 Problemas Específicos .....	16
<b>1.3 HIPÓTESIS .....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Hipótesis general.....	16
1.3.2 Hipótesis específicas .....	16
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
1.4.1 Objetivos General .....	16
1.4.2 Objetivos Específico .....	17
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>2 CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>18</b>



<b>2.2</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>21</b>
2.2.1	Yacimiento hidrotermal .....	21
2.2.2	Formación de los yacimientos hidrotermales.....	22
2.2.3	Alteraciones hidrotermales .....	23
2.2.4	Alteraciones de la roca caja .....	24
2.2.5	Mineralogía .....	25
2.2.6	Minerales de Mena.....	26
2.2.7	Minerales de Ganga .....	27
<b>2.3</b>	<b>DEPÓSITOS FILONIANOS VETAS.....</b>	<b>27</b>
2.3.1	Variedades de Filones .....	28
2.3.2	Formas Geométricas de los Yacimientos Filonianos.....	28
2.3.3	Cambios del Emplazamiento de un Filón .....	31
2.3.4	Comportamiento de la Longitud y Profundidad de un Filón .....	31
2.3.5	Exploraciones de Yacimientos Filonianos.....	31
<b>2.4</b>	<b>MAPEO GEOLÓGICO .....</b>	<b>32</b>
2.4.1	Mapeo Geológico en Interior Mina.....	32
2.4.2	El Muestreo Geológico .....	33
2.4.3	Métodos de Muestreo.....	34
2.4.4	Muestreo por Canales .....	34
2.4.5	Métodos de Gravimetría para Análisis de Oro.....	34
2.4.6	Análisis Estructural – Fracturas .....	36
2.4.7	Clasificación de Fallas .....	36
2.4.8	Fallas y Fisuras .....	37
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>39</b>



<b>3.2</b>	<b>ETAPAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>39</b>
3.2.1	Recopilación de Información .....	39
3.2.2	Trabajo en Campo.....	39
<b>3.3</b>	<b>ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>41</b>
3.3.1	Toma de Muestras.....	41
3.3.2	Trabajos de Laboratorio.....	41
3.3.3	Trabajo de Gabinete.....	44
3.3.4	Equipos y Materiales Utilizados .....	44
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3</b>	<b>HIDROGRAFÍA .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4</b>	<b>CLIMA Y VEGETACIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>4.5</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>4.6</b>	<b>GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>50</b>
4.6.1	Paleozoico .....	50
4.6.2	Cenozoico .....	51
4.6.3	Pleistoceno y Cuaternario .....	51
4.6.4	Rocas intrusivas .....	52
<b>4.7</b>	<b>GEOLOGIA LOCAL.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CONCESIÓN SAN JUAN CIEN .....</b>	<b>60</b>
5.1.1	Características Litológicas .....	60
5.1.2	Características Estructurales .....	66



5.1.3 Características Mineralógicas .....	74
<b>5.2 CONCENTRACIONES DE ORO Y SU IMPORTANCIA</b>	
<b>GEOECONÓMICA.....</b>	<b>85</b>
5.2.1 Ocurrencia de Oro y su Importancia Geoeconómica .....	85
5.2.2 Análisis Químicos en las Estructuras Mineralizadas .....	86
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

**Área:**

**Tema:**

**Fecha de sustentación:**





## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Yacimiento hidrotermal. ....	22
<b>Figura 2</b> Vista sección de la veta María Rosa – Mina Arcata. ....	29
<b>Figura 3</b> Vista sección de la concurrencia de varias vetas, ramales, vetillas, bolsones. .....	30
<b>Figura 4</b> Muestreo geológico de una galería. ....	33
<b>Figura 5</b> Tipos de fallas que ocurren en el macizo rocoso. ....	37
<b>Figura 6</b> Caracterización del área de estudio.....	40
<b>Figura 7</b> Levantamiento topográfico y mapeo en interior mina. ....	40
<b>Figura 8</b> Muestreo por canales. ....	41
<b>Figura 9</b> Roca andesita. ....	42
<b>Figura 10</b> Roca dacita.....	42
<b>Figura 11</b> Minerales de cuarzo y óxidos de hierro ....	43
<b>Figura 12</b> Muestras para secciones pulidas ....	43
<b>Figura 13</b> Secciones pulidas de la veta esperanza.....	43
<b>Figura 14</b> Mapa de Ubicación. ....	49
<b>Figura 15</b> Mapa Geológico Regional. ....	54
<b>Figura 16</b> Mapa Estructural Regional.....	55
<b>Figura 17</b> Afloramientos de unidades estratigráficas de la zona de estudio.....	56
<b>Figura 18</b> Afloramientos de unidades estratigráficas de la zona de estudio.....	56
<b>Figura 19</b> Afloramientos de unidades estratigráficas de la zona de estudio.....	57
<b>Figura 20</b> Intrusivos de la zona de estudio. ....	58
<b>Figura 21</b> Mapa Geológico Local.....	59
<b>Figura 22</b> Afloramientos de areniscas. ....	60



<b>Figura 23</b>	Afloramientos de areniscas y brechas.....	<b>61</b>
<b>Figura 24</b>	Cuarcitas. ....	<b>62</b>
<b>Figura 25</b>	Afloramiento de lutitas. ....	<b>63</b>
<b>Figura 26</b>	Muestras de roca andesítica. ....	<b>64</b>
<b>Figura 27</b>	Muestra de roca dacita alterada.....	<b>65</b>
<b>Figura 28</b>	Brecha hidrotermal de área de estudio. ....	<b>66</b>
<b>Figura 29</b>	Mapeo Geológico de la Zona.....	<b>68</b>
<b>Figura 30</b>	Veta Esperanza en interior mina. ....	<b>70</b>
<b>Figura 31</b>	Veta Patito interior mina. ....	<b>71</b>
<b>Figura 32</b>	Cartografía vetas Esperanza y Patito. ....	<b>72</b>
<b>Figura 33</b>	Sección geológica vetas Esperanza y Patito. ....	<b>73</b>
<b>Figura 34</b>	Minerales de mena y ganga, vetas Esperanza y Patito.....	<b>75</b>
<b>Figura 35</b>	Muestras RC-01 .....	<b>78</b>
<b>Figura 36</b>	Muestras RC-02 .....	<b>79</b>
<b>Figura 37</b>	Muestras VES-01 .....	<b>82</b>
<b>Figura 38</b>	Muestras VES-02 .....	<b>83</b>
<b>Figura 39</b>	Muestras VES-03 .....	<b>84</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Coordenadas UTM WGS84 19 L de la concesión San Juan Cien. ....	<b>46</b>
<b>Tabla 2</b> Accesibilidad al lugar de estudio. ....	<b>46</b>
<b>Tabla 3</b> Resultado de análisis de la Veta Esperanza y veta Patito por: Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría. ....	<b>86</b>
<b>Tabla 4</b> Resultados de la veta Patito y ensayo multi - elemental por ICP-OES (32 elementos). ....	<b>87</b>



## ACRÓNIMOS

<b>°C.</b>	Grados centígrados
<b>Gr/Tn.</b>	Gramos por tonelada
<b>km.</b>	Kilómetros
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>SE.</b>	Sureste
<b>NO.</b>	Noroeste
<b>NE.</b>	Noreste
<b>SO.</b>	Suroeste
<b>Oz/Tn.</b>	Onzas por tonelada
<b>Qh-al.</b>	Depósito Aluvial
<b>Qh-gl.</b>	Depósito Glaciar
<b>TM.</b>	Toneladas Métricas
<b>D-c</b>	Grupo Cabanillas
<b>P-t</b>	Grupo Tacaza
<b>Nm-p</b>	Grupo Palca
<b>D-c5</b>	Grupo Cabanillas Miembro 5
<b>D-c6</b>	Grupo Cabanillas Miembro 6
<b>Gr/Tm</b>	Gramos por tonelada
<b>Ar</b>	Argón
<b>RC</b>	Código de análisis de muestra
<b>Dc2</b>	Grupo Cabanillas Miembro 2



## RESUMEN

La mina San Juan Cien está ubicada en la comunidad Néstor Cáceres Velásquez, Distrito de Cabanilla, Provincia de Lampa, Región Puno. La zona de estudio no cuenta con información geológica a detalle, por lo cual el objetivo es determinar las características geológicas de estructuras mineralizadas de las vetas Esperanza y Patito. La metodología fue de tipo descriptivo, cuantitativo y explicativo, el cual consistió en cartografiado geológico, muestreo para estudios microscópicos y análisis químico que conllevaron a una interpretación de datos y redacción. La litología predominante en la zona de estudio, corresponde al Grupo Cabanillas, conformado por: areniscas, areniscas cuarzosas, lutitas grises y areniscas lutáceas; luego se tiene rocas volcánicas del Cenozoico, de composición andesítica y dacítica que corresponden al Grupo Tacaza y pequeños afloramientos de intrusivos con composición granodiorita a diorita. En las labores mineras se identificó la falla inversa Karina que tiene una orientación de N28°E, con buzamiento de 46°NW; la veta Esperanza tiene una orientación entre N25° a 35°W, cuyo buzamiento es 66°SW y tienen una potencia que va desde 0.07m a 0.2m; la veta Patito es paralela a la veta Esperanza, ambas vetas están emplazadas en andesita con alteración argílica. La mineralización está conformada por: pirita, arsenopirita, calcopirita, pirrotita y oro; como minerales supérgenos se tiene óxidos e hidróxidos de hierro, y como ganga dos tipos de cuarzo, uno gris claro y otro con tonalidad blanco amarillenta. De acuerdo al estudio microscópico, la ocurrencia del oro está relacionado con pirita y arsenopirita; este se encuentra disperso y distribuido de manera errática. La veta Esperanza tiene una ley de oro de 17.50 g/Tn equivalente 0.51 oz/Tc, y la veta Patito tiene una ley de oro de 22.18 g/Tn esto equivalente a 0.65 oz/Tc.

**Palabras clave:** Caracterización geológica, Estructuras Mineralizadas, Geoeconómico, Mineralogía, Ocurrencia De Oro.



## ABSTRACT

The San Juan Cien mine is located in the Néstor Cáceres Velásquez community, Cabanilla District, Lampa Province, Puno Region. The study area does not have detailed geological information, so the objective is to determine the geological characteristics of mineralized structures of the Esperanza and Patito veins. The methodology was descriptive, quantitative and explanatory, which consisted of geological mapping, sampling for microscopic studies and chemical analysis that led to an interpretation of data and writing. The predominant lithology in the study area corresponds to the Cabanillas Group, made up of: sandstones, quartz sandstones, gray shales and lutaceous sandstones; then there are volcanic rocks from the Cenozoic, of andesitic and dacitic composition that correspond to the Tacaza Group and small outcrops of intrusives with granodiorite to diorite composition. In the mining work, the Karina reverse fault was identified, which has an orientation of N28°E, with a dip of 46°NW; the Esperanza vein has an orientation between N25° to 35°W, whose dip is 66°SW and have a power ranging from 0.07m to 0.2m; the Patito vein is parallel to the Esperanza vein, both veins are emplaced in andesite with argillic alteration. The mineralization is made up of: pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, pyrrhotite and gold; As supergenous minerals there are iron oxides and hydroxides, and as gangue two types of quartz, one light gray and the other with a yellowish-white hue. According to the microscopic study, the occurrence of gold is related to pyrite and arsenopyrite; it is scattered and erratically distributed. The Esperanza vein has a gold grade of 17.50 g/Tn equivalent to 0.51 oz/Tc, and the Patito vein has a gold grade of 22.18 g/Tn equivalent to 0.65 oz/Tc.

**Keywords:** Geological characterization, Mineralized Structures, Geoeconomic, Mineralogy, Gold Occurrence.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El área de estudio carece investigación que definan las características geológicas de las estructuras mineralizadas con contenido aurífero y su importancia geoeconómica, así como su comportamiento estructural, mineralógico y geoquímico. Con excepción de estudios realizados a escala regional por INGEMMET. Dada la presencia de estructuras similares en áreas cercanas a la concesión, lo cual podrían aportar al conocimiento geológico y establecer la importancia geoeconómica de la concesión San Juan Cien.

Estos aspectos geológicos han motivado el interés por realizar un estudio de investigación, con el fin de determinar las características antes mencionadas. Se plantea realizar diferentes trabajos de campo, levantamiento topográfico y cartografiado geológico, muestreo por canales y trincheras, tanto en superficie como en interior mina, para su análisis respectivo. También se elaborarán mapas y secciones geológicas, y se interpretarán los datos obtenidos en campo.

### 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1 Problema general

De acuerdo al planteamiento del problema nos lleva a la formulación de las siguientes interrogantes:

¿Es posible determinar las características geológicas, estructurales, litológicas, mineralógicas y concentraciones de oro de las estructuras mineralizadas, en la Concesión San Juan Cien?



### **1.2.2 Problemas Específicos**

¿Cuáles son las características geológicas, litológicas, estructurales y mineralógicas en la concesión San Juan Cien?

¿Es posible determinar la presencia del oro y su importancia geoeconómica mediante la caracterización de las estructuras mineralizadas?

## **1.3 HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis general**

La caracterización geológica ayuda a determinar la importancia económica de las estructuras mineralizadas, presentes en la concesión San Juan Cien.

### **1.3.2 Hipótesis específicas**

El estudio geológico determina las características litológicas, petrográficas, estructurales y mineralógicas de las estructuras, presentes en la concesión San Juan Cien.

Con los análisis de muestras de roca y mineral se determina, las concentraciones de oro y su importancia geoeconómica.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivos General**

Determinar las características geológicas de las estructuras mineralizadas en la concesión San Juan Cien.





### **1.4.2 Objetivos Específico**

Identificar las características litológicas, estructurales y mineralógicas en la concesión San Juan Cien.

Conocer las concentraciones de oro en las estructuras mineralizadas y su importancia geoeconómica en la concesión San Juan Cien.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La investigación se llevó a cabo con el objetivo de identificar zonas mineralizadas y entender su comportamiento geológico con relación a la ocurrencia de oro. Hasta ahora, solo existen estudios a escalas regionales realizados por INGEMMET y trabajos de exploración hechos por mineros artesanales en la concesión y áreas cercanas, razón por lo cual se inició labores de exploración en la zona. Finalmente, todos estos datos serán recopilados, interpretados y analizados para conocimiento sobre la geología de zona, ya que presenta interés económico.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Aguirre (2017), en su tesis “Caracterización y exploración geológica del Proyecto Crucero-Puno”, indica que el proyecto fue mineralizado por fluidos hidrotermales (mesotermiales), aprovechando la esquistosidad y fracturas, para la depositación de Au y sulfuros de Fe, As, y Sb. Parte de la zona mineralizada se ubica estructuralmente dentro de un anticlinal con fallas transversales y zonas de fractura paralelas a las fallas Pacacorral y Canihuancani, que controlan la mineralización en el Proyecto Crucero.

Apaza (2022), en su trabajo de investigación titulado “Caracterización geológica del proyecto minero San Antonio, Río Grande-Condesuyos-Arequipa”, determinó la mineralogía, la mineralización, la génesis, la litología y el comportamiento estructural de las vetas Chillihuay, Chaco, Paricahua, Chambi y Susan, cuyas orientaciones tienen una tendencia de N45° a 85° O y un buzamiento de 75°-90° NE. La mineralización en el área de estudio incluye cuarzo, pirita, calcopirita, hematita, limonita y otros minerales, el oro existe en formas diseminadas y libres, en clavos mineralizados y formaciones sigmoideas.

Chura (2017), en su tesis “Evaluación Geológica de la Veta Serpiente del Yacimiento Muccumayo Carabaya – Puno”, según este estudio indica que la Formación Sandia se distingue por su roca metamórfica pizarra y cuarcita, cuya mineralización económica es oro asociado a cuarzo, que está estructuralmente controlado por un fuerte plegamiento y falla de inversión. Existe una correlación mineralógica del 72,57% entre mena y arsénico, lo que indica que los minerales que contienen arsénico, son un excelente elemento indicador y/o guía para los minerales de mena.



Mamani (2021), en su investigación “Exploración de la veta milagrosa en el nivel 1670, Esperanza Sur mediante perforaciones diamantina-Minera Aurífera Cuatro de Enero SA-Cháparra-Caravelí-Arequipa”, determinó según descripción petrográfica, cristales de cuarzo de la roca granodiorítica (cuarzo tipo I) y cuarzo rellenando las fracturas (cuarzo tipo II). Los principales minerales identificados mediante mineragrafía son pirita I, hematita, goethita, arsenopirita y electrum, que se forman a determinadas temperaturas. Las trazas y los minerales secundarios incluyen pirita II, calcopirita, rutilo y ganga. Estos datos indican condiciones favorables para la continuidad de la veta.

Melo (2018), en su estudio “Geología y mineralización del cuerpo Mascota en el yacimiento Yauricocha-Sociedad Minera Corona SA Lima-Yauyos”, indica que es un yacimiento de metasomatismo de contacto emplazado en calizas de la Formación Jumasha, el cual está situado al este de la Falla Yauricocha cuyo contenido mineral es Ag-Pb-Zn. Estos yacimientos tienen características similares al Cuerpo Mascota. La mineralización en el yacimiento se atribuye al intrusivo dioríticos.

Ordóñez (2013), en su “Estudio de geología, mineralización y alteraciones en la concesión minera Cascabel, provincia de Imbabura”, el depósito es de tipo pórfido de cobre-oro y presenta cuatro tipos de alteración hidrotermal: lutita potásica-propilítica-lutita media. Se identificaron seis tipos de vetillas: Tipo M: magnetita, cuarzo, actinolita; Tipo A: cuarzo, pirita, magnetita, calcopirita; Tipo B: cuarzo, pirita, calcopirita, bornita, calcita; Tipo D: pirita, cuarzo, calcopirita, bornita; Vetillas de clorita, epidota, calcita, cuarzo; Vetillas de calcita.

Ramos (2022), en su “Estudio geológico para la prospección de nuevas zonas de interés económico en el sector de Callanquitas proyecto Igor-La Libertad”, caracterizo la geoquímica de las vetas y brechas; las vetas de Callanquitas tienen una correlación



geoquímica directa de 0.5 o mayor con los elementos Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, y Sn; esta correlación se clasifica de moderada a fuerte; los elementos correlacionados con Au demostraron la existencia de 04 nuevas zonas anomalías con alto potencial económico en estructuras mineralizadas relacionadas con hidrotermalismo.

Rodríguez (2022), en su trabajo de investigación “Caracterización geológica y mineralógica de la veta “Venado” en la mina Leliatere. Cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay”, determinó especies minerales sulfuradas y filosilicatos mediante descripción macroscópica de muestras de mano y descripción microscópica de secciones pulidas, además realizó análisis químicos de oro, plata, cobre y otros elementos para complementar el estudio. Se determinaron altos niveles de oro, plata, cobre, zinc.

Rosas (2022), en su “Estudio geoeconómico de la veta Matacaballo en la mina Caudalosa Grande, Huancavelica”, indico según este estudio, que se trata de un yacimiento epitermal con presencia de una zona vertical mineralizada, lo que implica que la mineralización en niveles inferiores continúa con la presencia de plomo, zinc y sulfuros de cobre. Las reservas confirmadas y probables de la veta Matacaballo son en total, 44.184 Toneladas Métricas con ley media de 5.40 Oz/TM Ag, Au. 0.428 gr/TM, 1.25 % de Pb y 2.16 % de Zn.

Satián & Alonso (2019), en su artículo “Caracterización geológica y mineralógica de las vetas “San José” y “La Arenosa”, hizo la paragénesis mineral, el cual se definió mediante análisis macroscópico de muestras de mano, análisis microscópico de secciones delgadas y secciones pulidas, esto para interpretar y comparar por separado las condiciones geológicas entre las dos vetas. En la sección pulida se encontraron sulfuros, óxidos y carbonatos, junto con indicadores geológicos que definen al depósito, como un depósito epitermal de baja sulfuración.



Vilca (2018), en su trabajo de investigación “Geología económica de las vetas de la zona mineralizada Gisela de mina Esperanza, Caravelí-Arequipa”, determinó que las vetas de la Zona Gisela contienen metales preciosos de oro y cobre con propiedades lenticulares tanto horizontales como verticales, relacionados a intrusivos de diorita y monzonita de la superclase Linga y las rocas andesíticas Subvolcánicas. Con control mineralógico de oro en relleno de grietas y huecos en piritita, con asociaciones de hematites, cuprita y cuarzo.

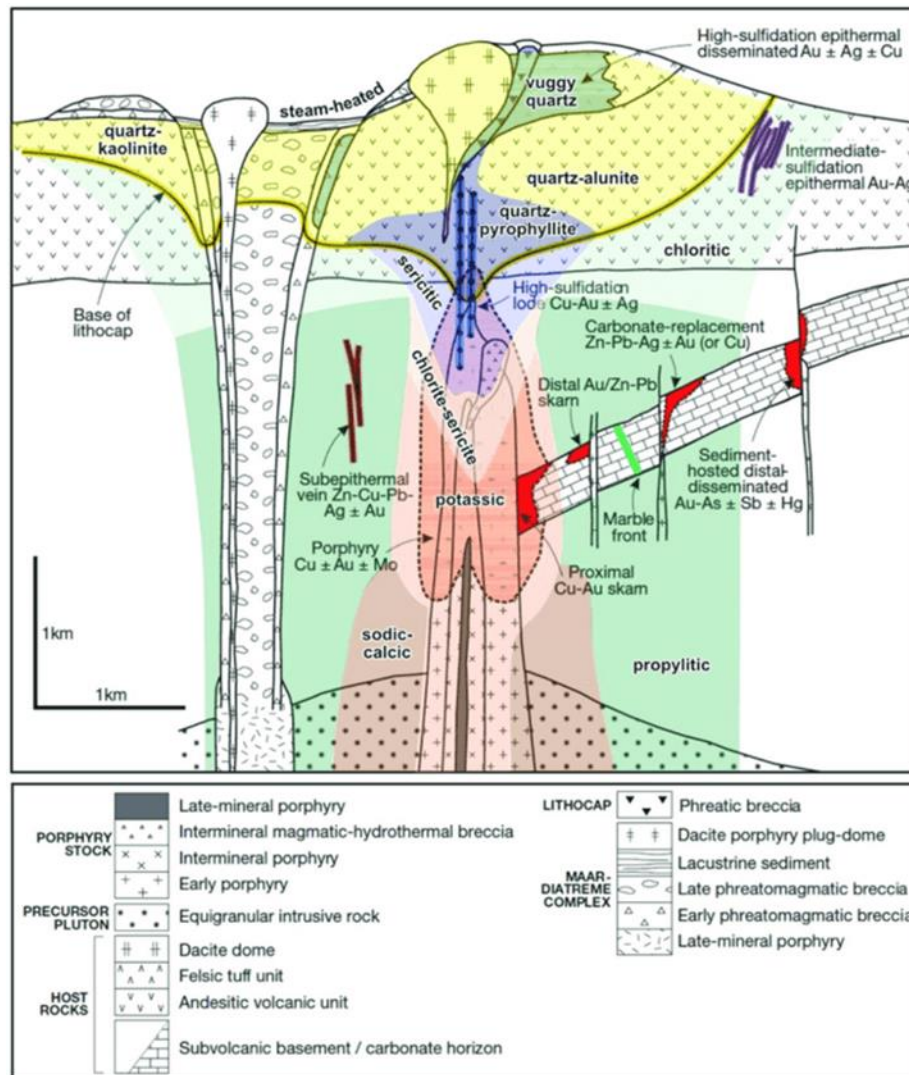
## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Yacimiento hidrotermal**

Según Castillo et al. (2018), un yacimiento hidrotermal es una concentración de minerales metálicos que se forma por la deposición de sólidos desde agua caliente cargada de minerales. Estas soluciones hidrotermales pueden provenir del magma o de las aguas meteóricas que circulan por la corteza terrestre y se calientan por el contacto con rocas ígneas. Los yacimientos hidrotermales se clasifican según la temperatura de formación en epitermales (200-100°C), mesotermales (300-200°C) y teletermales (100-0°C). Algunos ejemplos de yacimientos hidrotermales son los de oro, plata, cobre, molibdeno, hierro y estaño. Evidentemente, se trata de una clasificación complicada y arbitraria, porque los yacimientos minerales no responden a intervalos de temperatura tan precisos en la naturaleza. En una revisión de 2001 de los mayores yacimientos hidrotermales según (Broken Hill, Sullivan, Noranda, Timmins, etc).

**Figura 1**

*Yacimiento hidrotermal.*



*Nota:* Modelo tomado de Sillitoe (2010).

### 2.2.2 Formación de los yacimientos hidrotermales

Conforme a Candia *et al.*, (2016), los yacimientos hidrotermales se forman cuando los minerales se depositan y concentran a partir de aguas calientes (hidrotérmicas) que se sobrecalientan mediante el magma fundido y ascienden a la superficie a través de fisuras o grietas en la corteza terrestre. Estas aguas pueden provenir del magma o de las aguas meteóricas que se infiltran por las rocas y se calientan por el contacto con el calor geotermal.



### 2.2.3 Alteraciones hidrotermales

Según Candia *et al.*, (2016), las alteraciones hidrotermales son cambios en la mineralogía de las rocas que se producen por la interacción de fluidos hidrotermales con las rocas de la pared o roca encajonante. Estos fluidos, ricos en elementos químicos disueltos, se originan a partir de la actividad magmática o de la circulación de agua subterránea. La alteración hidrotermal puede afectar la composición mineral y la velocidad de ciertas reacciones, y puede ser un indicador de la presencia de depósitos minerales. Existen varios tipos de alteraciones hidrotermales, que incluyen la alteración potásica, la alteración propilítica, la alteración fílica, la alteración argílica, la silicificación y la carbonatización, entre otras.

- a) **La alteración potásica**, se caracteriza por la presencia de minerales como la biotita, la sericita y el feldespato potásico.
- b) **La alteración propilítica**, se caracteriza por la presencia de minerales como la clorita, la epidota y el carbonato.
- c) **La alteración fílica**, se caracteriza por la presencia de minerales como el cuarzo y la adularia.
- d) **La alteración argílica**, se caracteriza por la presencia de minerales como la caolinita o la montmorillonita, la alunita y la dickita. En la alteración argílica intermedia, el indicador mineral es la Illita, que tiene una temperatura de formación de 150 a 200 °C.
- e) **La silicificación**, se caracteriza por la presencia de cuarzo y otros minerales silicatados.
- f) **La carbonatización**, se caracteriza por la presencia de minerales como la calcita y la dolomita.



#### 2.2.4 Alteraciones de la roca caja

Las alteraciones de la roca caja se dividen en dos tipos: hipogénica y supergénica. La alteración hipogénica ocurre por la ascensión de soluciones hidrotermales, mientras que la supergénica se debe al descenso de agua meteórica que reacciona con la mineralización. El metamorfismo de los cuerpos de mena puede intensificar la alteración. Los factores que controlan la alteración hipogénica incluyen la composición química, tamaño de grano, cizalladura y permeabilidad de la roca caja, así como la presión, pH, potencial redox (Eh), temperatura y composición química de los fluidos mineralizantes (Castillo *et al.*, 2018).

La roca caja que contiene depósitos de origen hidrotermal suele experimentar efectos de reacción debido a la tendencia de los fluidos calientes a interactuar con la roca de los conductos por donde se desplazan. Tanto los fluidos como la roca se transforman, creando una capa entre la roca original y la alterada conocida como "alteración de la roca caja". Esta zona de alteración, también llamada halo, envolvente o borde, representa el volumen ocupado por los cambios provocados por la interacción entre los fluidos hidrotermales y la roca original (Castillo *et al.*, 2018).

- **Depósitos Mesotermales**

Los yacimientos mesotermales se forman yacimientos a presiones y temperaturas moderadas, las temperaturas de formación oscilan entre 175° y 300° C. Estos depósitos suelen estar asociados a ígneas intrusivas que van de ácidas (silíceas) a básicas (máficas). Los minerales más comunes en condiciones





mesotermales son oro, plata, cobre, plomo, cinc, molibdeno, con minerales de cuarzo, piritita y carbonato (Lindgren, 1931).

### **2.2.5 Mineralogía**

la mineralogía es una rama de la geociencia que estudia la naturaleza y formación de los minerales. Abarca todas las cuestiones relacionadas con los minerales, incluido su origen, que tienen una composición química y propiedades físicas. La mineralogía se distribuye en tres: la mineralogía general, que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales, la mineralogía descriptiva, que estudia la clasificación y descripción de los minerales, y la mineralogía especial, que estudia un mineral específico (Dávila, 2006).

En las visitas de campo se realizan observaciones macroscópicas que conducen al reconocimiento de minerales en mano o visualmente. Esta es una herramienta muy útil en el trabajo de campo de los geólogos porque permite una evaluación preliminar del tipo de materiales geoquímicos que se están observando y en todos los yacimientos hay minerales de mena y minerales de ganga.

Para determinar las propiedades de los minerales, primero debemos conocer todas sus propiedades físicas y químicas, con las que podremos llevar a cabo una investigación de campo y de laboratorio exhaustiva y precisa. Para lograr estos objetivos, se requieren diversas herramientas en el momento de la identificación y descripción (Atkinson *et al.*, 2007).

#### **2.2.5.1 Petrografía**

Es una rama de la geología que se centra en el estudio y la descripción de las rocas a nivel microscópico. Se analizan minuciosamente



secciones delgadas de muestras de rocas utilizando un microscopio petrográfico para determinar la composición mineralógica, la textura y la estructura de las muestras (García, 2023).

#### **2.2.5.2 Minerografía**

Es una técnica que se utiliza para identificar y caracterizar minerales en una muestra de roca o mineral. Consiste en el estudio de las características ópticas de los minerales utilizando un microscopio polarizado, donde se pueden determinar propiedades como el color, la forma, el brillo, la transparencia, la dureza, la fractura y la exfoliación de los minerales presentes en una muestra (García, 2023).

#### **2.2.6 Minerales de Mena**

Uno o más minerales que se pueden refinar y extraer de la roca con un beneficio económico (beneficio). Es un conjunto mineral duro, natural y útil que se extrae o se puede extraer de uno o más constituyentes económicamente valiosos (Dávila, 1999).

En general, se refiere a los minerales metálicos y al mineral del que se extrae el elemento valioso (Au, Cu de la calcopirita). Un mineral es un tipo de metal cuando es posible extraerlo de una mina y luego obtener el metal o un elemento químico de valor económico mediante procesos metalúrgicos. El valor de una mena se determina por su mineralización; en nuestra zona de estudio, la mineralización varía según las distintas vetas porque el objetivo es encontrar minerales de mena asociados al oro (Dávila, 1999).



Hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Malaquita  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$  y Azurita  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ .

### 2.2.7 Minerales de Ganga

Los minerales de ganga son materiales no metálicos asociados a un yacimiento. Los minerales o rocas encajonante sin valor económico suelen desintegrarse durante el procesamiento de los minerales. Generalmente, la ganga sólo contiene minerales no metálicos, pero es técnicamente posible, como ocurre con la pirita, que suele desecharse por su falta de valor. Es posible que un mineral considerado ganga en un yacimiento sea de interés en otro, o que los avances en las técnicas de extracción o en las aplicaciones industriales hagan rentable el procesamiento de materiales antes considerados ganga.

Cuarzo  $\text{SiO}_2$ , Goethita  $\text{FeO}(\text{OH})$ , Limonita  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , Pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y Pirrotita ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ).

## 2.3 DEPÓSITOS FILONIANOS VETAS

Conforme a Machaca *et al.*, (2014), los depósitos filonianos son rocas ígneas intrusivas que se originan cuando el magma o fluidos hidrotermales mineralizados ascienden hacia la superficie a través de fisuras de trazado irregular o grietas y fallas de bordes planos, y se solidifican en su interior formando filones, que son masas de roca con contorno tabular. Estas rocas se sitúan entre las rocas volcánicas y plutónicas en la clasificación de rocas ígneas. Sus características, distintas a las de la roca encajonante, permiten su diferenciación, y las relaciones de corte con otras rocas subvolcánicas facilitan la ordenación temporal de los eventos geológicos. Además, poseen un elevado potencial para convertirse en yacimientos minerales.



### 2.3.1 Variedades de Filones

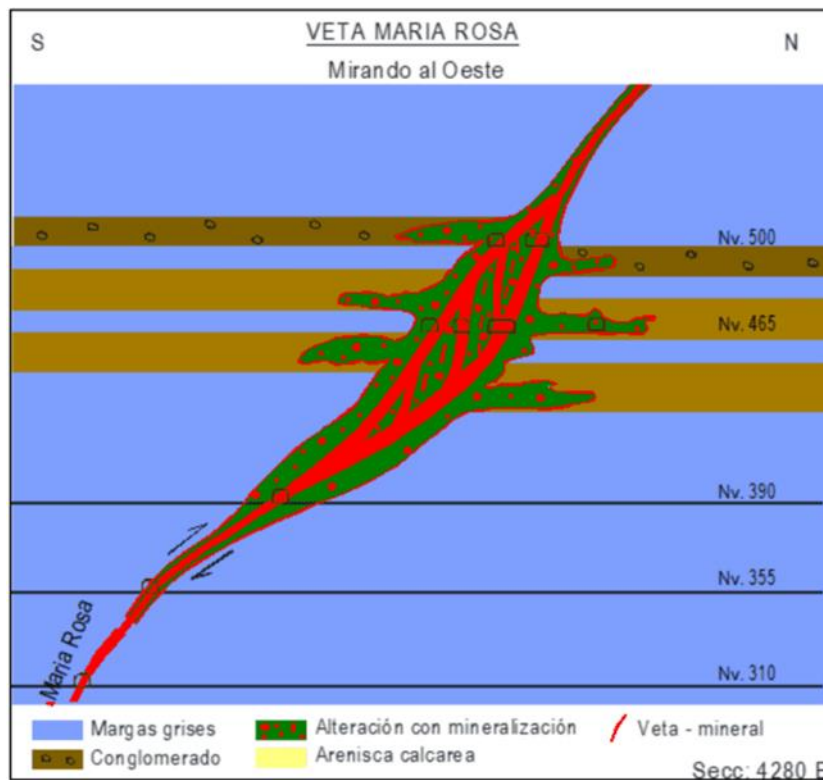
Los filones pueden ser simples, complejos, eslabonados, ojosos, dilatados y de cámara, y cada uno de ellos puede compactarse o modificarse en función de su competencia y de los tipos de rocas sobre los que son capaces de emplazar. Este filón ocupa una sola fisura, con cajas rectas y paralelas; cuando las cajas son irregulares o forman brechas debido a la formación de peso ligero cerca de la superficie, el filón se denomina filón de cámara, pero también pueden estar sueltos, formando lentejones escalonados por flexión o expansión por presión transmitida a través de soluciones mineralizantes, y algunos por fragmentación de filones preexistentes durante la metamorfosis post-encajonante, fallas adyacentes, confinadas y paralelas. Cada fisura está cubierta de minerales y separada por roca estéril, y toda la fisura se utiliza como un único filón (Garcés, 1984).

### 2.3.2 Formas Geométricas de los Yacimientos Filonianos

De acuerdo con Smirnov *et al.*, (1982), los yacimientos filonianos son cuerpos tabulares de mineralización que se emplazan a lo largo de las fallas o zonas de falla.

**Figura 2**

*Vista sección de la veta María Rosa – Mina Arcata.*



*Nota:* Tomada de Llanque & Chambi (2012).

Las vetas son estructuras tabulares de origen hidrotermal que reflejan una estructura tectónica de expansión, por lo que también se les considera cuerpos isométricos y planos. No obstante, existen variaciones dentro de una misma mineralización de un yacimiento filoniano que pueden ser:

**Las vetillas**, que son estructuras tabulares de menor tamaño que las vetas, y se encuentran en la misma zona de la veta principal.

**Ramales**, que es o son una división de la veta principal, los cuales pueden aflorar en la superficie.

**Las estructuras lenticulares**, los cuales tienen la forma de un lente y pueden tener grandes concentraciones de mineral en extensión vertical y horizontal.

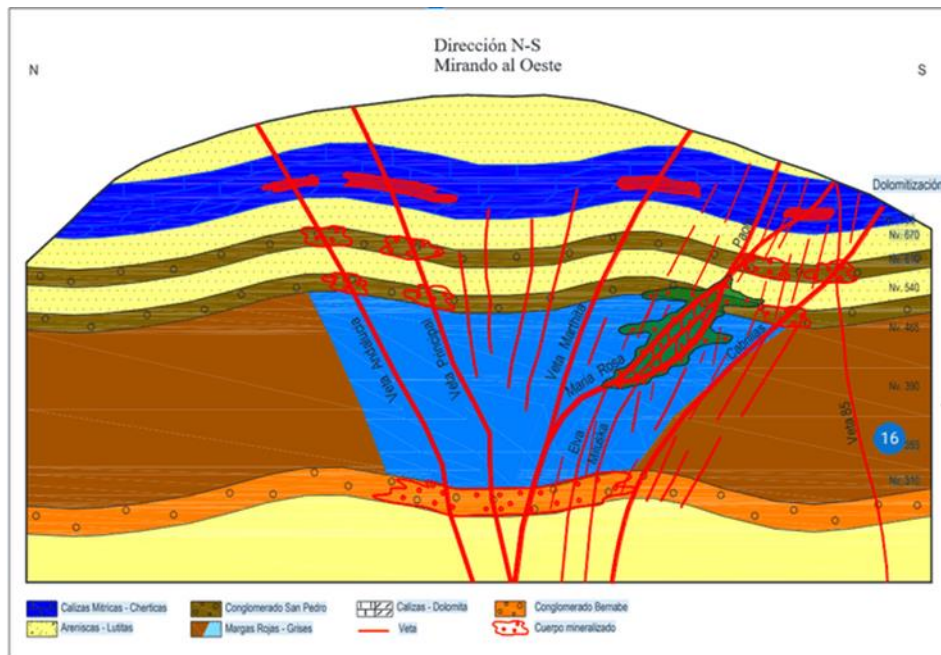
**Sistema de vetillas**, son mineralizaciones relativamente conjugadas y convergentes que hacen posible un yacimiento de forma isométrica de gran tamaño.

**Vetas tipo rosario**, son filones que tienen la forma de un rosario religioso, reduciéndose en partes y ensanchándose en otras de forma secuencial, por ello llevan ese nombre.

**Bolsones**, son concentraciones de las vetas en ciertos tramos formando pequeñas bolsas de mineralización.

### Figura 3

*Vista sección de la concurrencia de varias vetas, ramales, vetillas, bolsones.*



*Nota:* Tomada de Llanque & Chambi (2012).



### **2.3.3 Cambios del Emplazamiento de un Filón**

Al pasar de un tipo de roca a otro, la dirección de sus diaclasamientos y rellenos cambia drásticamente. Esto se debe al diferente comportamiento físico de una roca frente a otra, debido principalmente a los movimientos tensionales de las mismas.

### **2.3.4 Comportamiento de la Longitud y Profundidad de un Filón**

Varían en función de las dimensiones de las rocas que los contienen, lo que significa que un filón puede tener longitudes que van de decenas a cientos de metros, pero sólo unos pocos alcanzan longitudes superiores a un kilómetro. Como resultado, muchos filones pueden existir en paralelo y desaparecer uno tras otro, o pueden estar limitados por fallas locales que los hacen desaparecer (Garcés, 1984).

### **2.3.5 Exploraciones de Yacimientos Filonianos**

De acuerdo a Maza *et al.*, (2017), para realizar la exploración de un yacimiento filoniano se siguen muchas de las técnicas geológicas ya conocidas como: Teledetección y GIS, geofísicas, mapeo geológico de superficie, sondajes diamantinos, etc.

Ahora, los yacimientos filonianos, por su poca envergadura y CAPEX, generalmente toman las siguientes técnicas, ello ceñidas a la realidad de este estudio de investigación, los cuales son:



## 2.4 MAPEO GEOLÓGICO

Según refieren Chara *et al.*, (2017), el mapeo geológico es fundamental en cualquier proyecto de exploración. Una exploración eficaz requiere una comprensión profunda de los controles litológicos y estructurales de la mineralización. Estos conocimientos deben obtenerse a través del mapeo geológico en las etapas iniciales de un programa de exploración. El mapeo en superficie es una técnica fundamental, pues es el comienzo que pone el cimiento o base para estudios o técnicas posteriores que mejorarán la certeza del yacimiento en evaluación.

### 2.4.1 Mapeo Geológico en Interior Mina

De acuerdo a Maza (2017), el mapeo geológico en el interior de una mina es una técnica que permite identificar la naturaleza de las rocas y minerales presentes en la mina, así como su distribución. En el interior de la mina, se trabaja a detalle (escala 1:500) y en un plano a la altura del pecho. El mapeo geológico en interior mina se realiza para la identificación de litología, alteraciones hidrotermales, zonas de mineralización y estructuras. Al ser dentro de las labores, este proceso requiere de herramientas como lámparas, portaminas, flexómetros, picotas, bolsas de muestreo, entre otros.



## Figura 4

*Muestreo geológico de una galería.*



*Nota:* Acceso a la veta Esperanza nivel 4000 m.s.n.m.

### 2.4.2 El Muestreo Geológico

Según refiere Castillo *et al.*, (2018), es una de las actividades de gran importancia y quizá la más necesaria para el área de geología, ya que, en base a los resultados de los ensayos de la toma de muestras, evalúan y determinan si un yacimiento se explota o no, siempre que este genere un margen económico positivo para la compañía. El proceso de los resultados de muestreo se planea y controla, lo que determina una adecuada exploración, explotación y tratamiento metalúrgico. El muestreo debe ser de forma cuidadosa y precisa lo que garantiza los resultados de los ensayos obtenidos para el cálculo de reservas. En la etapa de exploraciones, el análisis de los resultados del muestreo conjuntamente con una buena interpretación y apreciación geológica permitirá definir la afabilidad de un yacimiento y en consecuencia su exploración.



La ejecución de muestreo conlleva a una organización del personal que tenga conocimientos técnicos y mucha habilidad para la toma de muestras. Además, deben contar con el equipo necesario para realizar un trabajo correcto que garantice resultados confiables.

#### **2.4.3 Métodos de Muestreo**

De acuerdo a Castillo *et al.*, (2018), los métodos de tomar una muestra (muestreo) que se utilizan dependerán del tipo de yacimiento, orientación y principalmente de la forma de la estructura mineralizada, las cuales pueden ser; vetas, mantos, cuerpos mineralizados, pórfidos, skarn, etc.

#### **2.4.4 Muestreo por Canales**

El muestreo por canales se aplica en estructuras tabulares como vetas y mantos, y consiste en extraer muestras de mineral en canales rectangulares, marcados transversalmente al rumbo de las estructuras, para obtener muestras representativas a nivel local. Es crucial para estimar reservas de manera local y requiere que el personal sea competente en su aplicación.

#### **2.4.5 Métodos de Gravimetría para Análisis de Oro**

Es un proceso detallado que involucra la preparación y disolución de la muestra, precipitación y recuperación del oro, y finalmente, el pesado y cálculo de la concentración de oro. A pesar de ser un proceso laborioso, la gravimetría proporciona resultados precisos y exactos, lo que la convierte en una técnica valiosa en la geología y la metalurgia para la determinación del contenido de oro en diferentes materiales.



La gravimetría es una técnica analítica utilizada para determinar la cantidad de un elemento basándose en la masa del mismo. En el análisis de oro, la gravimetría permite una medición precisa y exacta de la concentración de oro en una muestra (Lunt, 2000).

**Preparación de la Muestra:** Se tritura y muele hasta obtener un polvo homogéneo.

La muestra en polvo se trata con ácidos, usualmente agua regia, para disolver el oro.

**Precipitación:** Se añade un agente precipitante, como ácido oxálico, para provocar la precipitación del oro.

**Filtración y Lavado:** El precipitado de oro se recoge mediante filtración y se lava con agua destilada para eliminar impurezas.

**Secado y Calcinación:** El precipitado lavado se seca en una estufa y luego se calienta en un horno para obtener oro puro.

**Pesado:** El oro puro y seco se pesa con una balanza analítica de alta precisión.

**Cálculo:** Se calcula la concentración de oro en la muestra original y se reportan los resultados en partes por millón (ppm) o como porcentaje del peso de la muestra.

- **Ensayo multi elemental por ICP-OES para oro**

Es una técnica avanzada y versátil para la detección y cuantificación de oro y otros elementos en una variedad de muestras. Su alta sensibilidad, precisión



y capacidad para realizar análisis simultáneos lo hacen indispensable en laboratorios geológicos y metalúrgicos.

**Principio:** Analiza elementos a partir de la luz emitida por átomos y iones excitados en un plasma de argón a alta temperatura.

**Preparación:** La muestra sólida se disuelve en ácidos para obtener una solución líquida.

**Proceso:** La solución se introduce en el plasma, donde se atomiza. La luz emitida a longitudes de onda específicas se mide para determinar la concentración de oro.

**Ventajas:** Permite la detección simultánea de múltiples elementos, incluyendo oro, con alta precisión y rapidez. Eficiente para el análisis de minerales, suelos y productos metalúrgicos.

Geología estructural

#### 2.4.6 Análisis Estructural – Fracturas

De acuerdo a Fossen (2010), una fractura se entiende como discontinuidad planar o subplanar que sucede en el macizo rocoso cuando su límite de elasticidad es superado como consecuencia de la aplicación de un esfuerzo. Las fallas son discontinuidades, con desplazamiento paralelo a las paredes, dominado por mecanismos de deformación frágil.

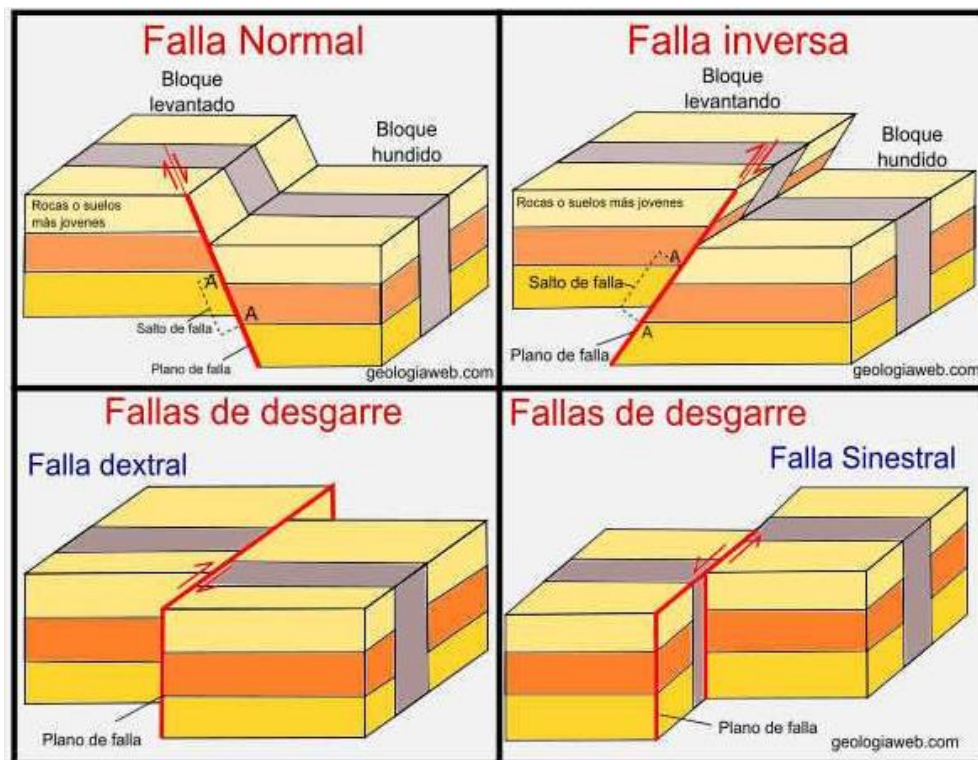
#### 2.4.7 Clasificación de Fallas

Falla normal: El bloque techo se mueve hacia abajo (baja) con respecto al bloque piso. Falla inversa: El bloque techo se mueve hacia arriba (sube) con

respecto al bloque piso. Falla dextral-normal: Movimiento paralelo a la línea de rumbo es mayor que el movimiento paralelo a la línea de buzamiento. En este tipo de falla el bloque superior se mueve hacia la derecha con respecto al bloque inferior y, adicionalmente, baja (Fossen, 2010).

### Figura 5

*Tipos de fallas que ocurren en el macizo rocoso.*



*Nota:* Geologiaweb: Blog de Geología, sus ramas y aplicaciones (2023).

#### 2.4.8 Fallas y Fisuras

Las fallas son estructuras importantes para la formación de vetas o filón que se nutren de grandes cantidades de soluciones minerales, las cuales determinan la formación y emplazamiento de estas estructuras mineralizadas; su utilización dependerá de si es económicamente rentable su explotación o no reúne las características necesarias.



Las fisuras son estructuras de menor intensidad que, a su vez, establecen una geoforma importante para la colocación de elementos de alto potencial económico que pueden ser cubrados y, si tiene características de rentabilidad, pueden ser explotados de acuerdo con sus características de formación y potencial (Atkinson *et al.*, 2007).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se utilizó métodos descriptivos, cuantitativo y explicativo, permitiendo la descripción de características geológicas de las estructuras mineralizadas, incluyendo revisión bibliográfica, datos de campo, mapeo geológico, tomas de muestras de las vetas; y un método de investigación explicativo para interpretar y analizar el comportamiento mineralógico a partir de los resultados.

#### 3.2 ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

##### 3.2.1 Recopilación de Información

El presente trabajo ha recopilado datos geológicos, así como información realizada por otros autores. El propósito de esta fase fue recolectar toda la información disponible sobre los yacimientos filonianos en cuanto a la mineralización y su ocurrencia de oro, de informes de trabajos e investigaciones en el área de estudio; se utilizó, principalmente la geología del cuadrángulo (hoja 32-v) y Boletín A-42 del INGEMMET.

##### 3.2.2 Trabajo en Campo

###### 3.2.2.1 Caracterización de las estructuras mineralizadas:

Durante esta fase, se llevó a cabo un reconocimiento sobre el terreno en la zona de estudio y sus alrededores en donde se identificó estructuras mineralizadas o clavos, para luego analizar y proporcionar una interpretación más exhaustiva de nuestras estructuras identificadas.

Se describieron las características geológicas del área de estudio mediante el cartografiado geológico, para lo cual se elaboraron planos regionales en esc.1:50000, 1:25000 y planos locales en esc. 1:7500, 1:500 para labores mineras; así mismo se recolectó muestras para el estudio petrográfico y mineragráfico, y el análisis químico de estructuras mineralizadas. Esta etapa fue crucial para nuestra investigación.

### Figura 6

*Caracterización del área de estudio.*



### Figura 7

*Levantamiento topográfico y mapeo en interior mina.*





### 3.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

En el área de estudio se recogieron muestras representativas de las unidades litológicas encontradas. Estas muestras se utilizaron para describir las rocas, identificando los tipos de rocas, estructuras, alteraciones y mineralogía. Las muestras de mano fueron procesadas en secciones delgadas y pulidas.

#### 3.3.1 Toma de Muestras

Se tomaron muestras puntuales de las labores de producción en la galería; de las vetas (Esperanza y Patito), vetillas paralelas a la Esperanza y de roca caja, con el objetivo de examinar las concentraciones de oro en las estructuras mineralizadas. Las muestras fueron enviados al laboratorio para su respectivo análisis. Esta etapa de muestreo es importante ya que los resultados obtenidos influirán en la evaluación económica y la explotación del yacimiento.

#### Figura 8

*Muestreo por canales.*



#### 3.3.2 Trabajos de Laboratorio

Para la elaboración de secciones delgadas y pulidas se utilizó el Laboratorio de Litogeoquímica e Hidrogeoquímica de la EPIG (Megalaboratorio).

El análisis mineralógico microscópico se hizo en el laboratorio de Yacimientos Minerales de la EPIG, utilizando un microscopio de luz reflejada y transmitida LEICA modelo 3100. fueron extraídas las rocas andesita y dacita.

Las muestras obtenidas para su respectivo análisis químico, de la Veta Esperanza, Vetilla paralela a la Veta Esperanza, Roca caja, y Veta Patito. Se enviaron a Laboratorios Analíticos del Sur (Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría y ensayo multi - elemental por ICP-OES), cada muestra con un peso de 4 kg cada una.

### **Figura 9**

*Roca andesita.*



### **Figura 10**

*Roca dacita*



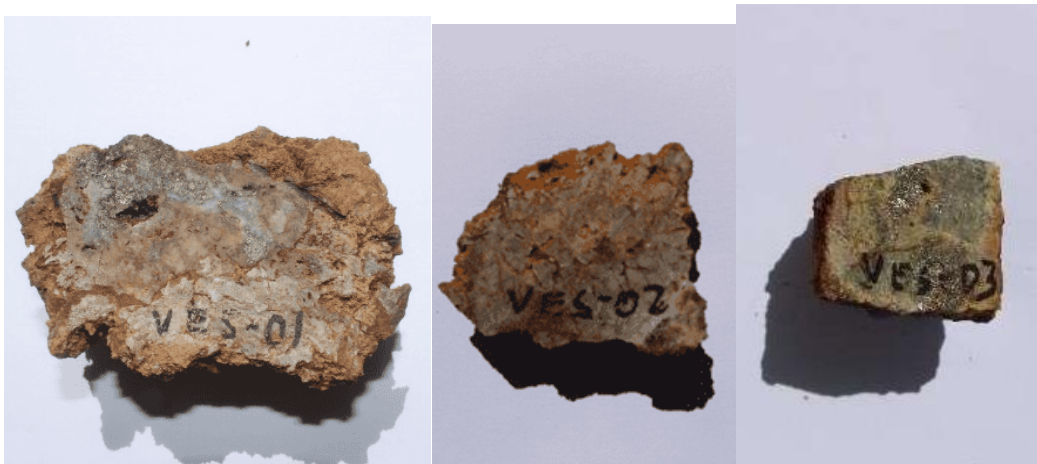
**Figura 11**

*Minerales de cuarzo y óxidos de hierro*



**Figura 12**

*Muestras para secciones pulidas*



**Figura 13**

*Secciones pulidas de la veta esperanza*





### 3.3.3 Trabajo de Gabinete

El trabajo consistió en procesar la información obtenida sobre el terreno y laboratorio. Se realizó, digitalización de mapas, descripción e interpretación de secciones geológicas, descripción e interpretación de las secciones delgadas y pulidas; los softwares empleados fueron ArcGIS 10.8 y AutoCAD 2020.

### 3.3.4 Equipos y Materiales Utilizados

Materiales Utilizados para la Recopilación de Información en la Fase de Campo:

- Estación Total Leica TS06
- GPS Garmin
- Brújula Brunton
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Lápiz rayador
- Picota de geólogo, combo y cincel
- Lupa de 20x, 30x y 60x
- Lámpara minera WISDOM KL8M
- Equipos de protección personal (EPPS)
- Bolsa de muestreo
- Pintura
- Útiles de escritorio (Lápiz, lápices de colores, protactor)
- Tablero de mapeo, libreta de campo
- Mapa geológico superficial



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se ubica en la comunidad Néstor Cáceres Velásquez a 16.77 Km al NW en el distrito de Cabanilla, Provincia de Lampa del departamento de Puno, a una altitud comprendida entre los 3980 msnm y 4300 msnm.

**Tabla 1**

*Coordenadas UTM WGS84 19 L de la concesión San Juan Cien.*

Vértices	Concesión San Juan Cien	
	Este	Norte
V1	349342.82	8280133.05
V2	351616.36	8281171.57
V3	351932.77	8280479.11
V4	349657.23	8279442.59

#### 4.2 ACCESIBILIDAD

Se accede de Lima a Juliaca por la carretera Panamericana Sur (21 horas); desde la ciudad de Juliaca se continua por vía asfaltada hasta Cabanillas (30 minutos) y luego se sigue el trayecto a la Mina San Juan Cien (1 hora y 5 minutos). En el camino, se pasa por el Distrito de Cabanilla, hacienda Miraflores y Comunidad Néstor Cáceres Velásquez.

**Tabla 2**

*Accesibilidad al lugar de estudio.*

Tramo	Distancia	Vía	Tiempo	Medio transporte
Lima-Juliaca	1279 km	Asfaltado	21 horas	Bus
Juliaca-Cabanillas	28.3 km	Asfaltado	30 min	Camioneta
Cabanillas-Cabanilla	2.45 km	Asfaltado	5 min	Camioneta
Cabanilla- San Juan Cien	16.32 Km	Trocha	30 min	Camioneta



### **4.3 HIDROGRAFÍA**

Este afluente se origina en la quebrada Huayoco, dentro del área de estudio, como parte de las microcuencas estas se caracterizan por ser riachuelos temporales, con recarga en períodos lluviosos; en su trayecto, se une al río Caccapunco, el cual forma parte del río Lampa y finalmente este último se une al río Coata, conformando así la cuenca endorreica del Titicaca.

### **4.4 CLIMA Y VEGETACIÓN**

En esta zona de estudio, el clima es característico del altiplano frío y seco, las bajas temperaturas reducen significativamente la presión atmosférica, ya que esta entre los 4000 m.s.n.m. a 4500 m.s.n.m. se presentan fuertes lluvias con tormentas, granizos y nevadas. Estos cambios climáticos generalmente comienzan en fechas de noviembre hasta marzo, esporádicamente hasta abril, en invierno la temperatura desciende hasta los  $-4^{\circ}\text{C}$ , y en entre los meses agosto y septiembre hay fuertes vientos, la temperatura promedio es de  $9^{\circ}\text{C}$ . La temperatura del área varía de  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $15^{\circ}\text{C}$  aproximadamente (fuente SENAMHI - 2015).

### **4.5 GEOMORFOLOGÍA**

La zona de estudio está ubicada en la morfoestructura Cordillera Occidental, cuya unidad geomorfológica circunscribe a montañas metamórficas y sedimentarias estructurales, muy erosionadas en sus cimas, por pequeñas quebradas de formas dendríticas. Las laderas de las montañas están conformadas material de origen glaciario, en donde los afloramientos ígneos forman pequeñas escarpas que se diferencian por ser muy compactas.

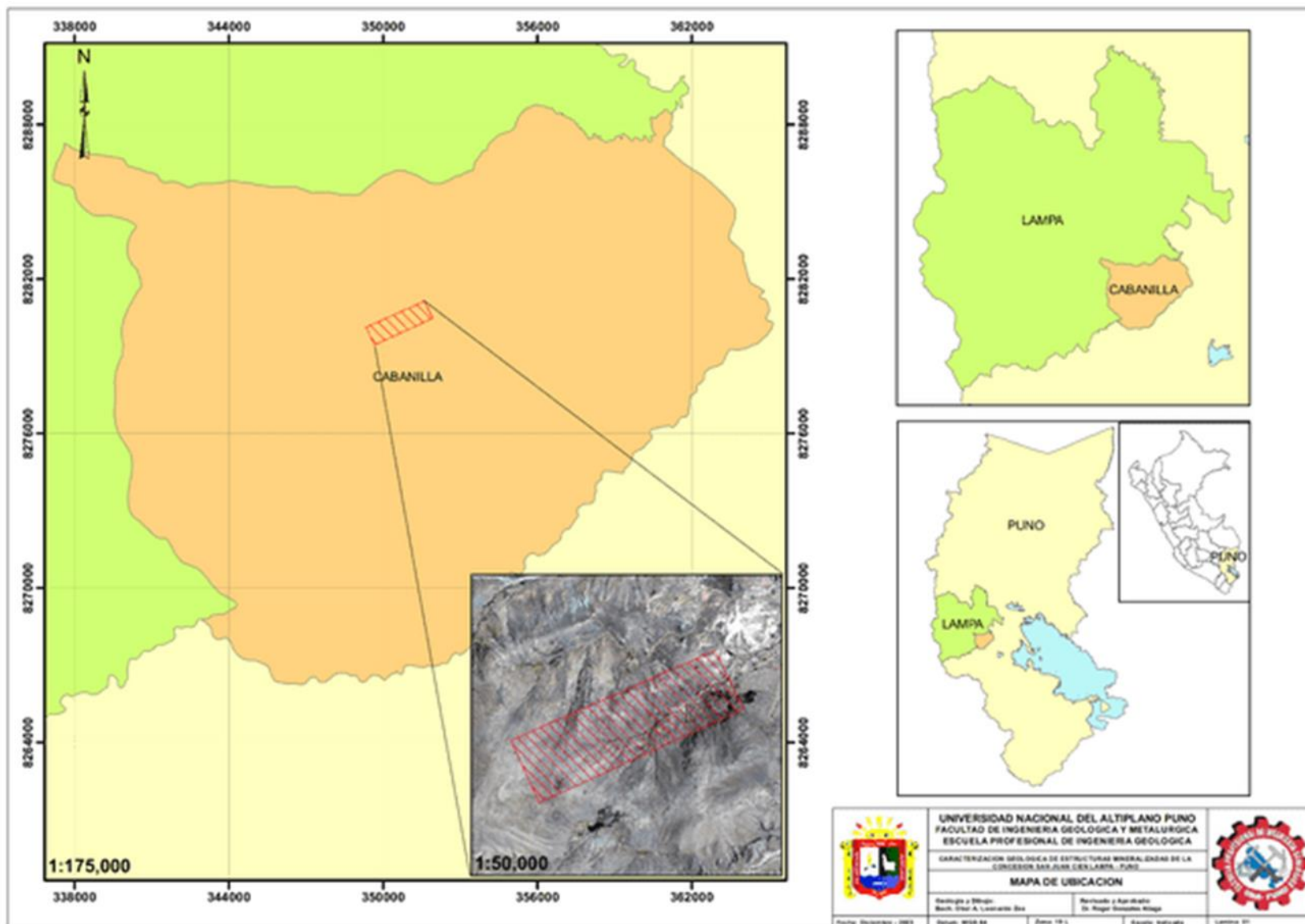


La bocamina Esperanza, está ubicada en un valle de origen glaciario el cual es disectado por un riachuelo, aquí se forman terrazas de 20 cm de espesor poco diferenciadas, con material metamórfico e ígneo.



**Figura 14**

*Mapa de Ubicación.*



## 4.6 GEOLOGÍA REGIONAL

### 4.6.1 Paleozoico

#### 4.6.1.1 Grupo Cabanillas (D-c)

Newell (1949), definió el Grupo Cabanillas como una secuencia de areniscas cuarzosas en la base y lutitas gris oliva con numerosos braquiópodos en la parte superior. Consta de 5 miembros, de los cuales dos son los que ocurren en la zona de estudio:

##### Miembro 5 (D-c5)

Está compuesto por una secuencia de areniscas rojizas, en estratos de 0,05 y 0,2 m. En algunos sectores, se presentan niveles de lutitas, con venillas de calcita.

##### Miembro 6 (Dc-6)

Está compuesto por areniscas marrón rojizo de grano fino en estratos de 0,5 a 1 metro. Las cuales están muy fracturadas con rellenos de sulfuros (Figura 17).

Según la última cartografía de INGEMMET, en el Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN), a escala de 1:50000, se designó, a los miembros 5 (D-c5) y 6 (Dc-6), como miembro 2 (Dc2), el cual se utilizó como base para el estudio del proyecto San Juan Cien.

## 4.6.2 Cenozoico

### 4.6.2.1 Grupo Tacaza (P-t)

Jenks (1946), lo definió inicialmente y luego Newell (1949), describió como lavas basálticas y andesíticas rojas en los niveles inferiores y aglomerados de tobas dacíticos en los niveles superiores. El Grupo Tacaza está formado principalmente por lavas andesíticas porfídicas con intercalaciones de brechas y niveles volcanoclásticos. En la zona de Pataoco, al oeste de Cabanillas, el Grupo Tacaza aparece como una secuencia de aglomerados que contienen clastos de tamaño métrico de toba y lavas andesíticas.

### 4.6.2.2 Grupo Palca (Nm-p)

El grupo Palca contiene secuencias de tobas de lapilli de coloración blanca biotítica, con intercalaciones de tobas líticas y tobas de cristales (Klinck *et al.*, 1986; Palacios *et al.*, 1993).

## 4.6.3 Pleistoceno y Cuaternario

### 4.6.3.1 Depósitos glaciares

Estos depósitos consisten principalmente en grava gruesa y bloques en una matriz arenosa y limosa, formando morrenas con una estratificación caótica, difusa o apenas observable. Los depósitos glaciares se distribuyen principalmente a lo largo del límite sur y son el resultado de la erosión de antiguos volcanes del Grupo Barroso. Al norte de Cabanillas existen depósitos glaciares resultantes de la erosión de un monzogranito Permotriásico, en la zona de estudio los depósitos glaciares son el



resultado de la erosión de un cuerpo diorítico neógeno (Rodríguez *et al.*, 2020).

#### **4.6.3.2 Depósitos aluviales**

Estas acumulaciones se componen de gravas polimícticas dentro de una matriz arenosa y limo-arenosa, con algunos lentes arenosos. Los clastos consisten en intrusivos redondeados, pizarra y clastos de filita resultantes del transporte.

#### **4.6.4 Rocas intrusivas**

##### **4.6.4.1 Granodiorita:**

La intrusión granodiorítica se localiza al norte de Cabanillas, en los alrededores de la mina abandonada San Judas Tadeo y abarca un área de 40 km<sup>2</sup> aproximadamente. Intruye a las secuencias 5 y 6 del Grupo Cabanillas, y constituye la parte central de un dominio estructural. La composición mineralógica de cuarzo, plagioclasa y ortoclasa es similar y puede llegar a un 25% de estos minerales (Palacios *et al.*, 1993), presentan variaciones donde el porcentaje de cuarzo puede llegar hasta el 10% y la plagioclasa aumentar hasta el 40%. Asimismo, la ortosa puede variar su porcentaje hasta el 5% (Rodríguez *et al.*, 2020).

El cuerpo de San Judas Tadeo fue datado Ar/Ar con base en dos minerales de la misma muestra: 258,30-4,90 Ma en hornblenda y 275,20-5,80 Ma en biotita (Palacios *et al.*, 1993), esto quiere decir que el emplazamiento tuvo lugar en el Pérmico, desde principios del Cisuraliano hasta principios del Guadalupiano. Vale la pena señalar que este cuerpo

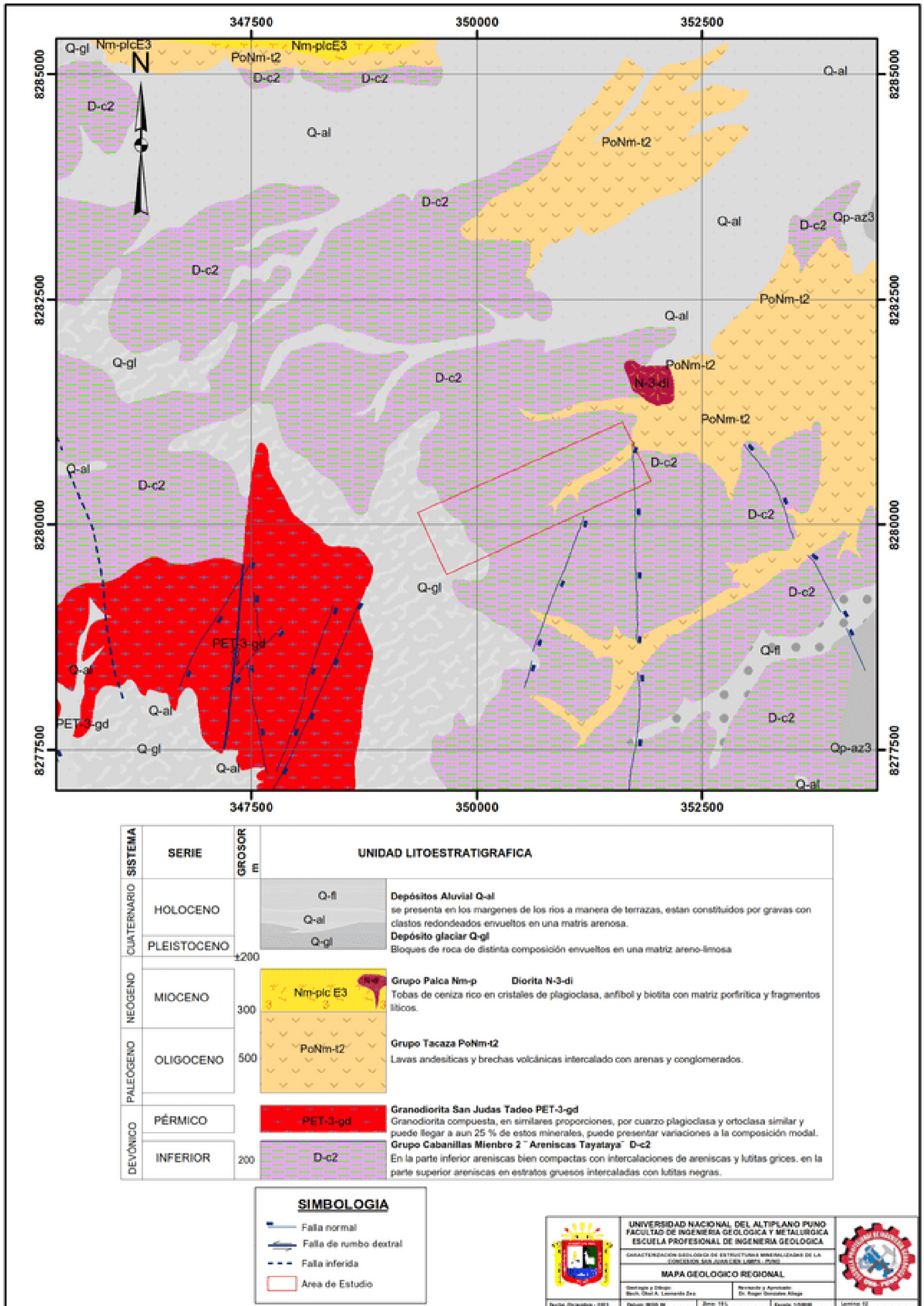


interviene en el proceso de mineralización, la moscovita hidrotermal asociada con Mo-W-Fe muestra una edad de 263,60–5,20 Ma (Palacios *et al.*, 2003).

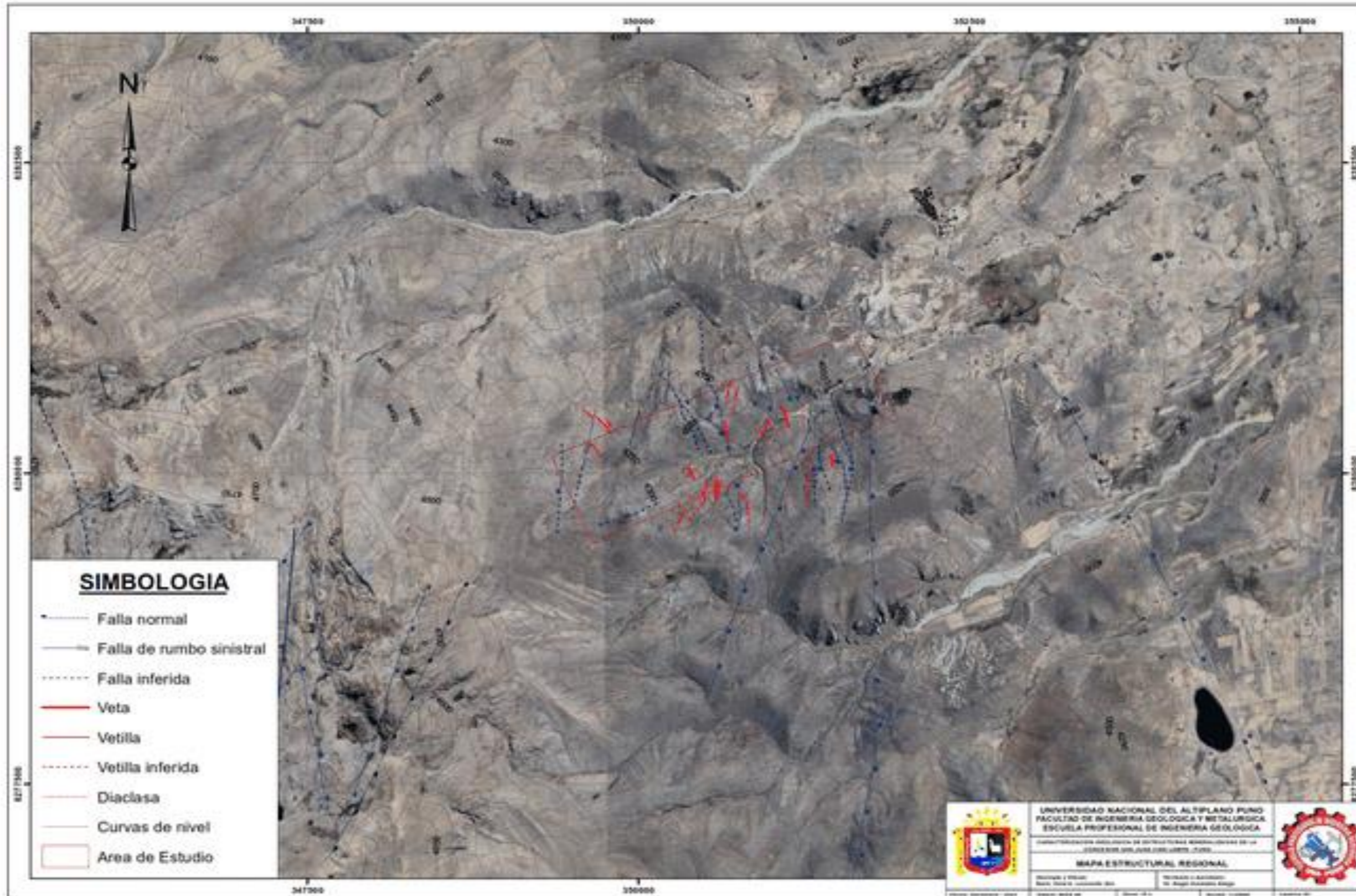
#### **4.6.4.2 Diorita**

Los cuerpos de diorita afloran en el dominio tectonoestratigráfico de Cabanillas (ver figura 15), cubriendo una superficie de hasta 15 km<sup>2</sup> de color gris pálido, con fenocristales cristales de plagioclasa, situados en una matriz de grano fino y de textura porfirítica de plagioclasas y minerales máficos (Rodríguez *et al.*, 2020).

**Figura 15**  
*Mapa Geológico Regional.*



**Figura 16**  
*Mapa Estructural Regional.*

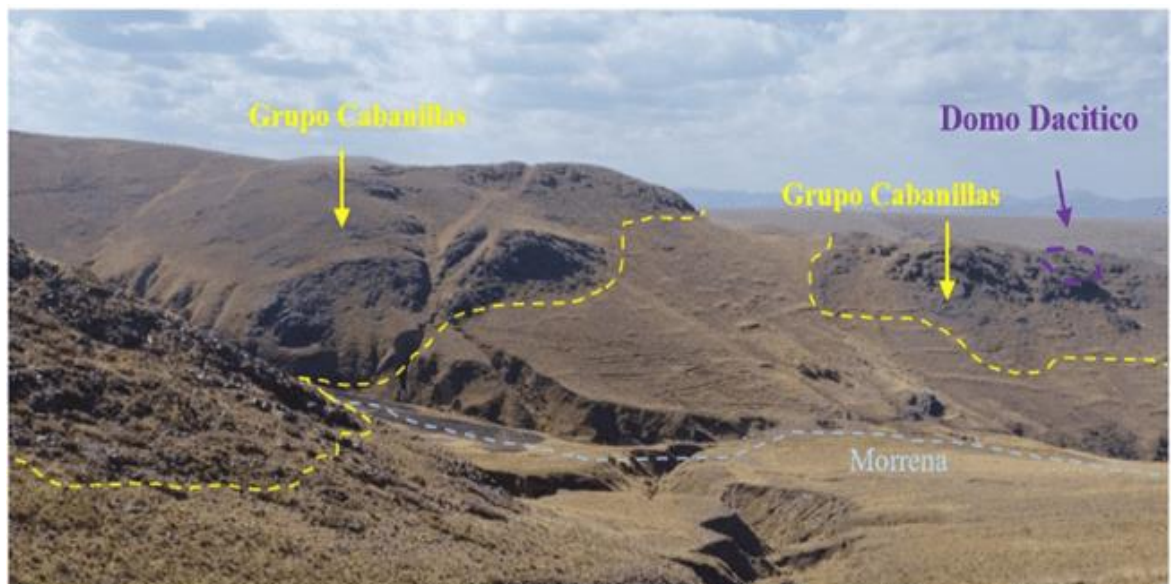


#### 4.7 GEOLOGIA LOCAL

La litología predominante en el área de estudio corresponde al Grupo Cabanillas conformadas, por: arenisca, areniscas cuarzosas, lutitas grises, areniscas lutáceas (ver figura 17, 18 y 19). Las rocas volcánicas son del Grupo Tacaza, como: andesita y dacita.

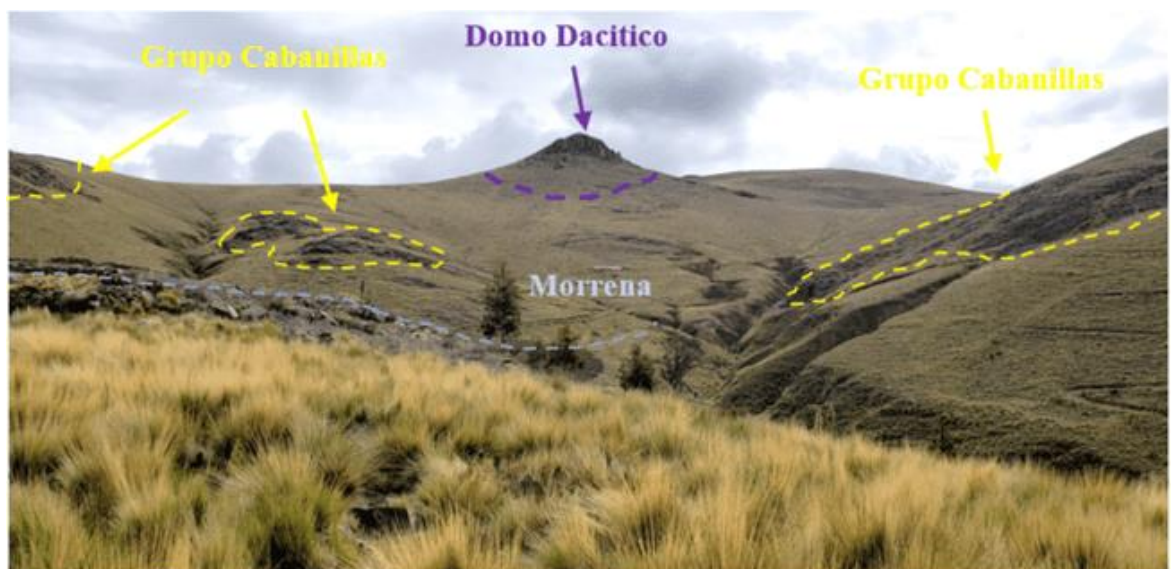
**Figura 17**

*Afloramientos de unidades estratigráficas de la zona de estudio.*



**Figura 18**

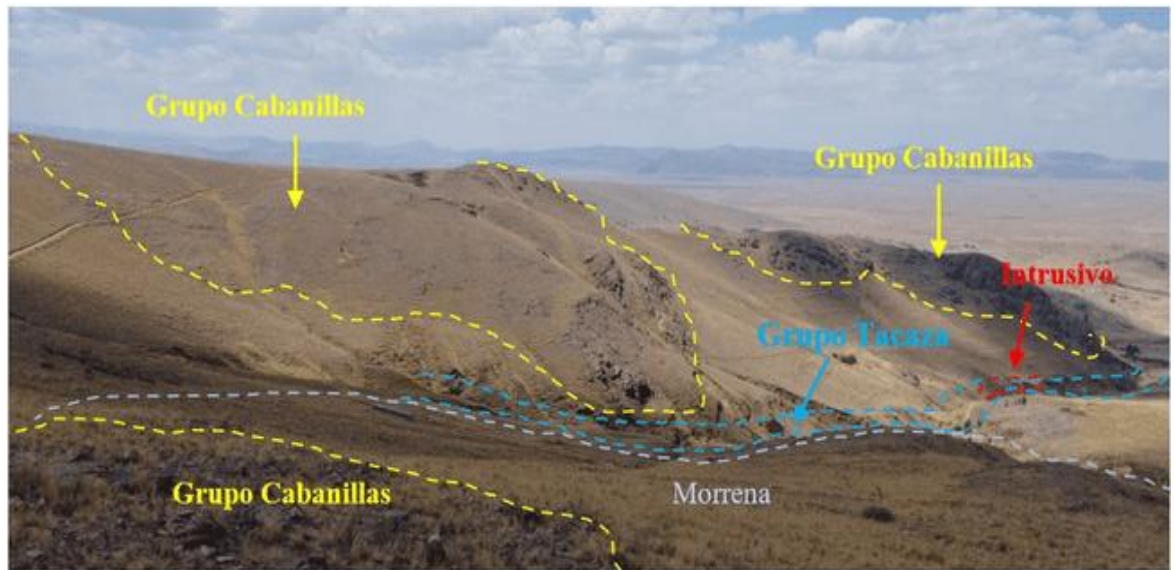
*Afloramientos de unidades estratigráficas de la zona de estudio.*





## Figura 19

*Afloramientos de unidades estratigráficas de la zona de estudio.*



### **Intrusivos:**

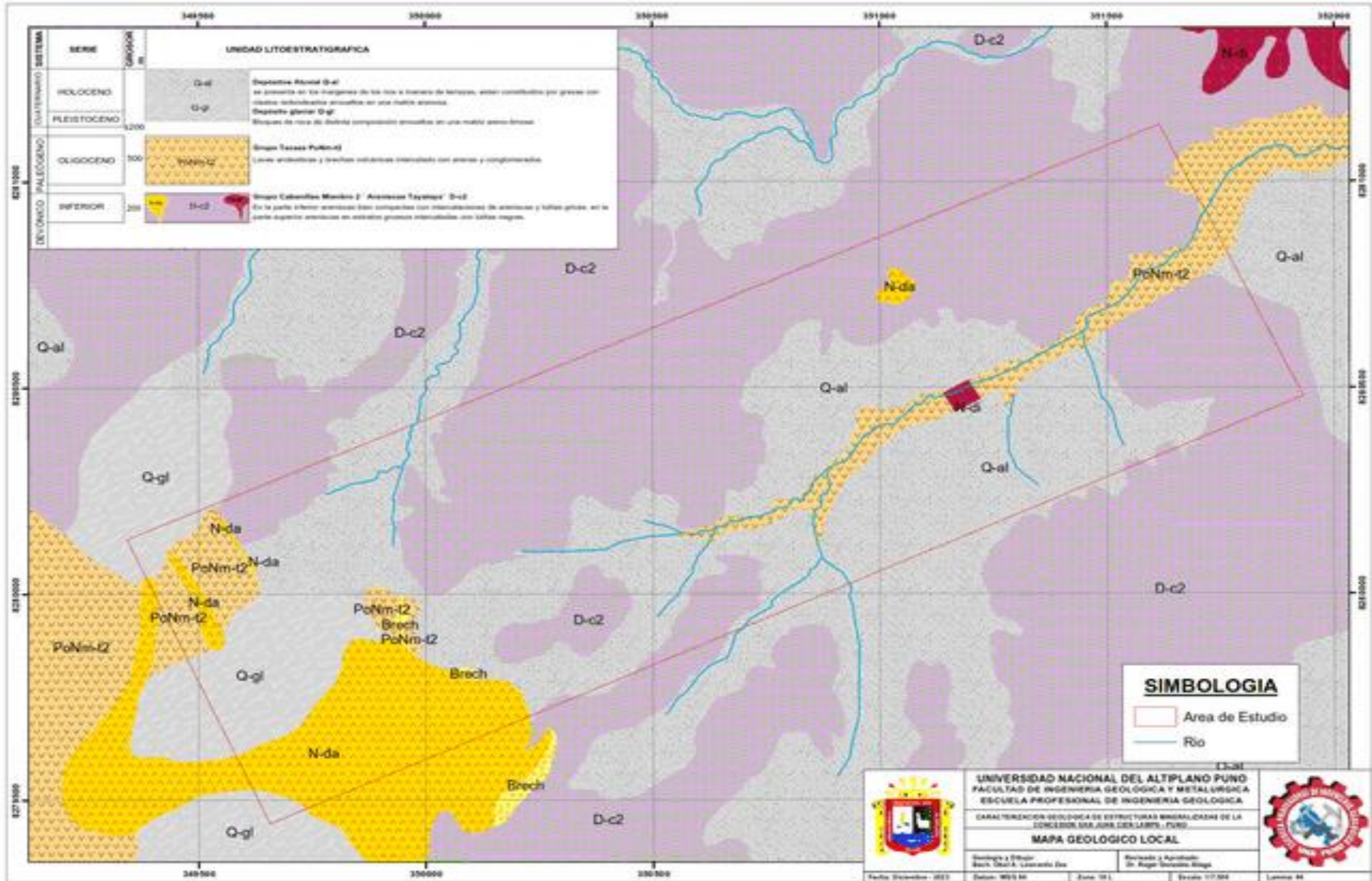
Dentro de la concesión existen pequeños afloramientos de rocas intrusivas de composición granodiorita y diorita (ver figura 20). En algunos sectores de las rocas volcánicas (dacitas) se observan brechas producto de la interacción con los fluidos hidrotermales, estos afloramientos fueron expuestos por la falla inversa denominada Karina. También se observan xenolitos de rocas ígneas mafias, con textura porfirítica, las cuales aparecen engullidas en las dioritas (ver figura 20).

## Figura 20

*Intrusivos de la zona de estudio.*



**Figura 21**  
*Mapa Geológico Local.*



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CONCESIÓN SAN JUAN CIEN

##### 5.1.1 Características Litológicas

- **Areniscas cuarzosas**

En la zona de estudio existen afloramientos de areniscas cuarzosas erosionadas de colores blancos a amarillos, hasta marrón rojizo, tienen minerales de cuarzo y mica (moscovita), de grano fino medio, textura porfirítica, intercaladas con areniscas lutáceas de coloración gris verdoso (ver figura 22).

#### Figura 22

*Afloramientos de areniscas.*



- **Arenisca brechadas**

Estos afloramientos sedimentarios clásticos presentan grietas de desecación, así como brechamiento oqueroso. En algunas secuencias de estratos se observó, conglomerados polimígticos con potencias hasta de 20cm, tienen un comportamiento compacto y se encuentran alterados por hidrotermalismo. Se encuentra una brecha hidrotermal que contiene clastos de arenisca con formas subangulosas a subredondeadas (ver figura 23).

### Figura 23

*Afloramientos de areniscas y brechas.*



- **Cuarcitas**

Las cuarcitas en San Juan Cien son muy compactas, de color blanco y que por alteración se torna a marrón claro; mineralógicamente el contenido de cuarzo es superior al 70%, se caracteriza por su dureza y resistencia a la meteorización. Presenta fracturas perpendiculares al plano de estratificación con ocurrencia de óxidos de hierro cuya textura es granoblástica con cierta alteración argílica y hasta

silicificación (ver figura 24). En ciertos niveles presenta porosidad con formas sub redondeadas con rellenos de óxidos también de hierro.

### Figura 24

*Cuarcitas.*



- **Lutitas**

En la zona de estudio las lutitas pertenecientes al grupo Cabanillas, afloran en toda la concesión, están cubiertas por material cuaternario y se encuentran alterados por hidrotermalismo, son poco fisibles y presentan en planos de estratificación y fisibilidad minerales de hierro. Su tamaño de grano es fino, presenta un color gris claro a pardo, los sectores que tiene colores claros presentan minerales como alunita pulverulenta y caolinita formando un tipo de erosión diferencial. Se puede observar una lutita gris con textura fangosa de grano fino; mineralógicamente se compone de minerales arcillosos, micas, cuarzo y feldespatos (ver figura 25).

### **Figura 25**

*Afloramiento de lutitas.*



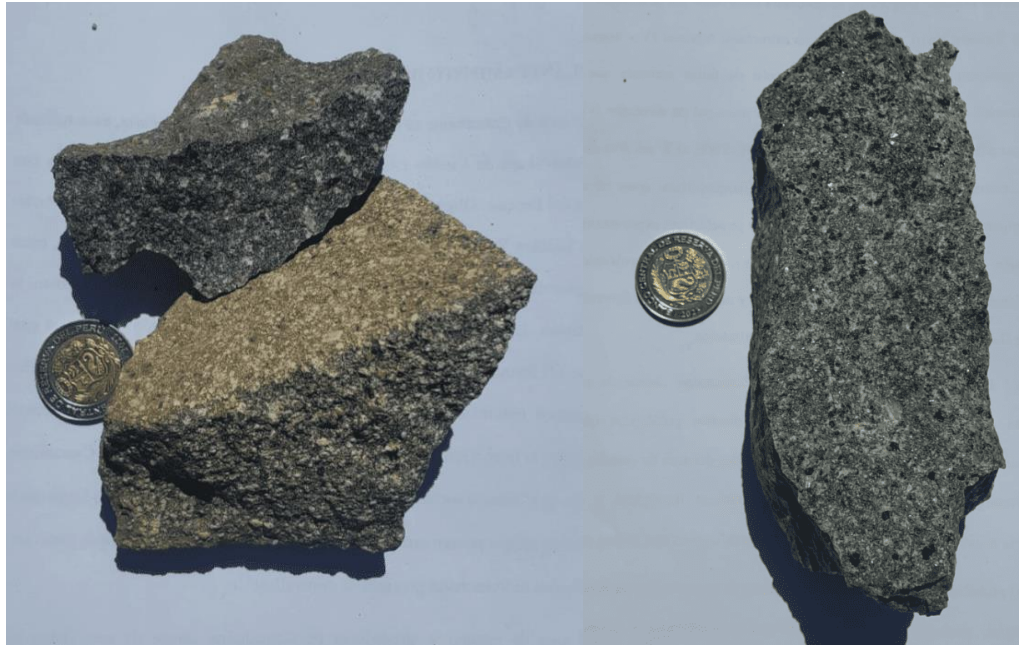
- **Andesita**

La roca andesita pertenece al Grupo Tacaza, tiene color verde gris, esta poco intemperizada con comportamiento muy compacto. Contiene poco cuarzo, feldespatos alterados y cloritas; también existe diseminaciones de pirita y calcopirita las cuales tienen mayor ocurrencia en fracturas. Las fracturas además

de sulfuros contienen costras milimétricas de óxidos de hierro, su tipo de alteración es de moderada intensidad y de distribución pervasiva selectiva (ver figura 26).

### Figura 26

*Muestras de roca andesítica.*



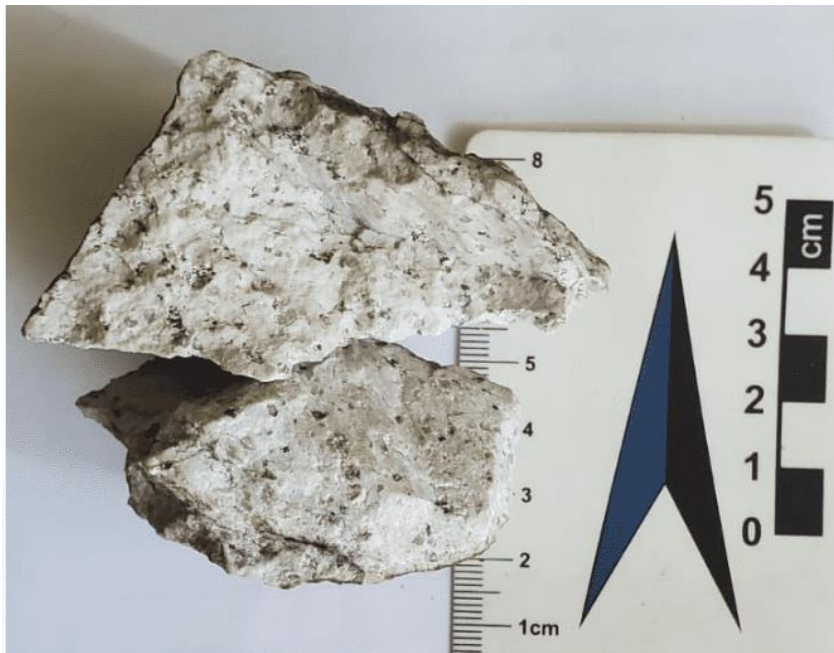
- **Dacita**

Este afloramiento de dacitas corresponde al Grupo Tacaza, son de origen subvolcanico, presenta una coloración blanca con tonalidad rosácea, de textura porfírica, es poco intemperizada y bien compacta. Contiene cuarzo euhedral, feldespatos alterados y sericita pulverulenta; también existe diseminaciones de hematita que forma pseudomorfos, la cual tiene formas subhedrales hexagonales y cubicas. Las fracturas contienen costras de hematita producto de oxidación, presenta alteración pervasiva selectiva (ver figura 27).



## Figura 27

*Muestra de roca dacita alterada.*



- **Brecha hidrotermal**

Estas brechas se encuentran en el contacto con la roca andesita y dacita, es el resultado de la interacción de fluidos hidrotermales, los clastos de andesita tienen formas subangulosas a subredondeadas (en algunos casos).

La mineralización que muestran estas brechas son: pirita, arsenopirita y calcopirita diseminada ocurren en los clastos y la matriz; la pirita está presente en los clastos como mineral secundario, y las pequeñas cavidades formadas por la lixiviación de plagioclasa están rellenas de óxidos de hierro y arcilla (ver figura 28). La matriz presenta a veces cuarzo hidrotermal y óxidos de hierro (hematita principalmente).

## Figura 28

*Brecha hidrotermal de área de estudio.*



### 5.1.2 Características Estructurales

El comportamiento estructural está representado por tres sistemas de fallas normales, que tienen en su mayoría direcciones NO-SE, NE-SO y NS, estas estructuras cortan afloramientos sedimentarios, volcánicos e intrusivos. También se puede observar fallas transcurrentes con componente siniestral, que corta solo a rocas volcánicas y sedimentarias.

La falla inversa denominada Karina, tiene una orientación de  $N28^{\circ}E$  y un buzamiento de  $46^{\circ}NO$ ; esta corta a rocas ígneas intrusivas y volcánicas. En las labores mineras, se identificó esta misma falla con ciertas variaciones en su buzamiento, cuyo salto de falla es 3 a 4m en roca andesítica, el relleno de falla lo conforman arcillas de color blanco a amarillo, cuyo espesor en tramos varía de 30 a 60cm. En tramos se observa roca caja brechada, con diseminaciones de pirita bien desarrollada hasta de 2 cm de tamaño (ver figura 29).



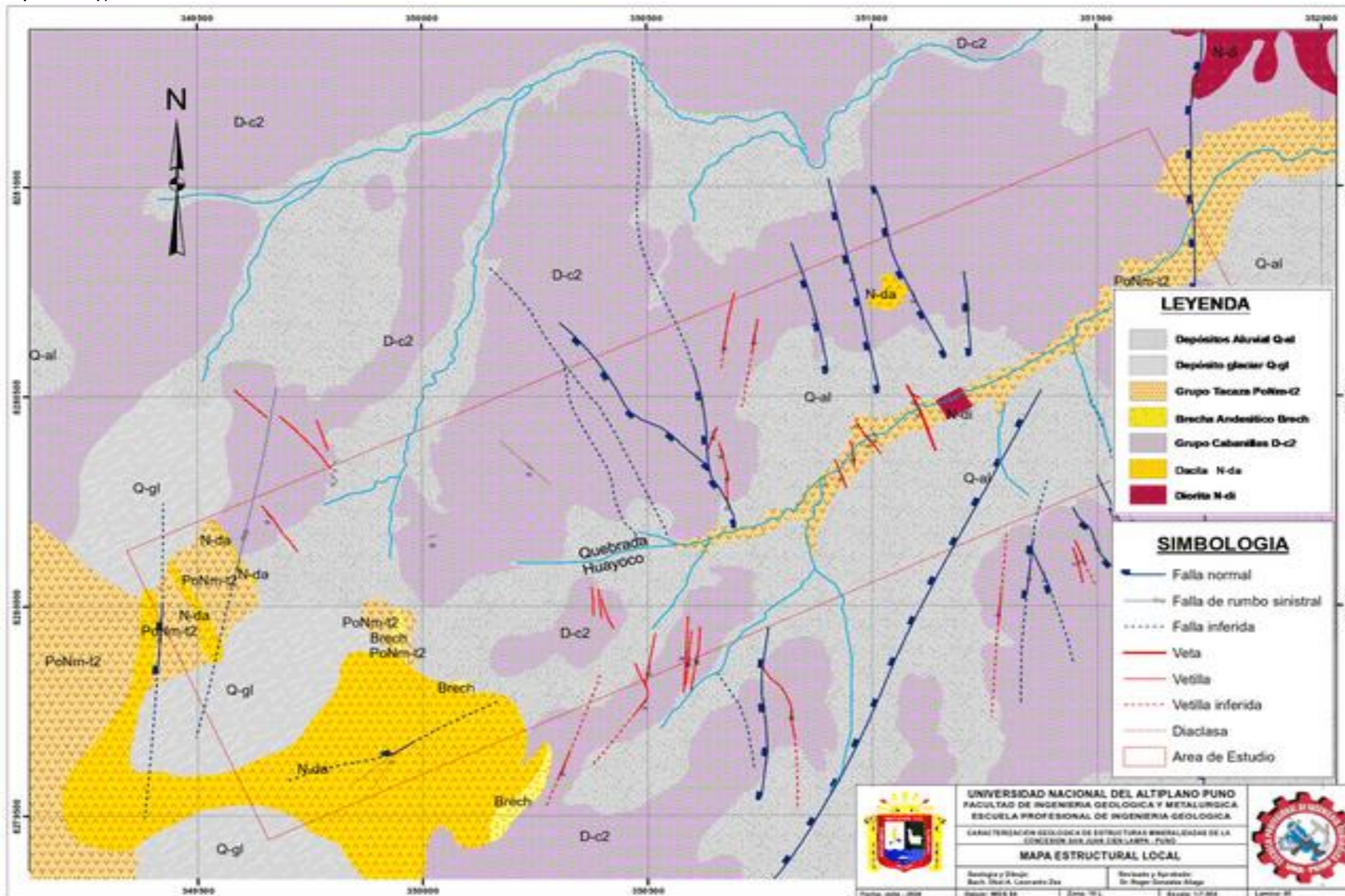
Otras estructuras mineralizadas dentro de la zona de estudio, presentan direcciones NE-SO y NO-SE, una de ellas es la vetilla Hermes, que tiene una orientación de  $N12^{\circ}E$  y un buzamiento de  $57^{\circ}NO$ . En la parte superficial del laboreo minero, se evidencia una falla orientada al NE de índole regional, la cual está cubierta por material cuaternario; se interpretó otras estructuras paralelas a esta falla, cuya orientación es andina NE-SW.

En la concesión San Juan Cien, el control de mineralización es estructural en donde las estructuras mineralizadas dominantes están relacionadas a fallamientos que se originaron a partir de relleno con fluidos hidrotermales, dando lugar a mineralización de sulfuros, principalmente pirita, arsenopirita, calcopirita, pirrotita y bornita. Este proceso también provocó la alteración de roca volcánica cuya mayor parte está cubierta por material cuaternario.

La relación entre el fluido y la roca, dio lugar a la precipitación de minerales, que se encuentran en forma de bandeamientos de cuarzo no muy notorias, como ocurre en la veta Esperanza. Paralela a esta estructura mineralizada se encuentra la veta Patito con orientación similar a la veta Esperanza, en ciertos tramos varía de  $N25^{\circ}$  a  $35^{\circ}E$ . Los minerales de mena en la veta Esperanza y Patito presentan oro libre relacionado con arsenopirita, pirita, pirrotita y calcopirita.

Una interpretación de estrías de falla sobre la veta Esperanza, indica posible componente dextral, que fracturó la andesita y formó pequeños Riedels secundarios, también mineralizados con orientaciones NE-SO (paralelo a la falla Karina).

**Figura 29**  
**Mapeo Geológico de la Zona**





- **Veta Esperanza**

La estructura es de tipo simoidal con potencia variable de 0.07m y 0.2m. cuya orientación es de N 30°E y un buzamiento de 59°SW. Esta veta es de tipo rosario (mineralización distribuida de manera irregular), tiene una longitud discontinua de 20m en superficie. La veta Esperanza, consiste en una veta de cuarzo brechado, con desiminación de sulfuros. La mineralización está constituida por sulfuros de hierro y cobre como; pirita, arsenopirita, calcopirita y pirrotina, así como cuarzo y arcilla de color blanco grisáceo (ver figura 30).

En las labores mineras, se identificó la falla inversa denominada Karina, con una orientación de N28°E y un buzamiento de 46°NO. Emplazada en roca caja de andesita, en algunos tramos se observa brechas y con diseminaciones de pirita bien desarrollada hasta de 2 cm de tamaño. En los afloramientos de las vetas, los halos de alteración hidrotermal, indican la presencia de minerales cloritizados, característicos de áreas con intensa circulación de fluidos hidrotermales. En la superficie, se evidencia una abundante oxidación, provocado por una intensa meteorización de sulfuros de hierro (ver figura 32 y 33).

### Figura 30

*Veta Esperanza en interior mina.*



- **Veta Patito**

Esta veta es paralela a la veta Esperanza y con comportamiento geológico similar; su potencia llega hasta los 20cm. Las rocas encajonantes de esta estructura son andesitas, cuya mineralización contempla rellenos de pirita, arsenopirita, calcopirita, pirrotina, cuarzo y limolita. También ocurren minerales supergénicos en esta veta, como: malaquita, azurita, hematita, presencia de arcillas y pirolusita. Las arcillas también rellenan cavidades producto de la lixiviación de silicatos presentes en superficie.

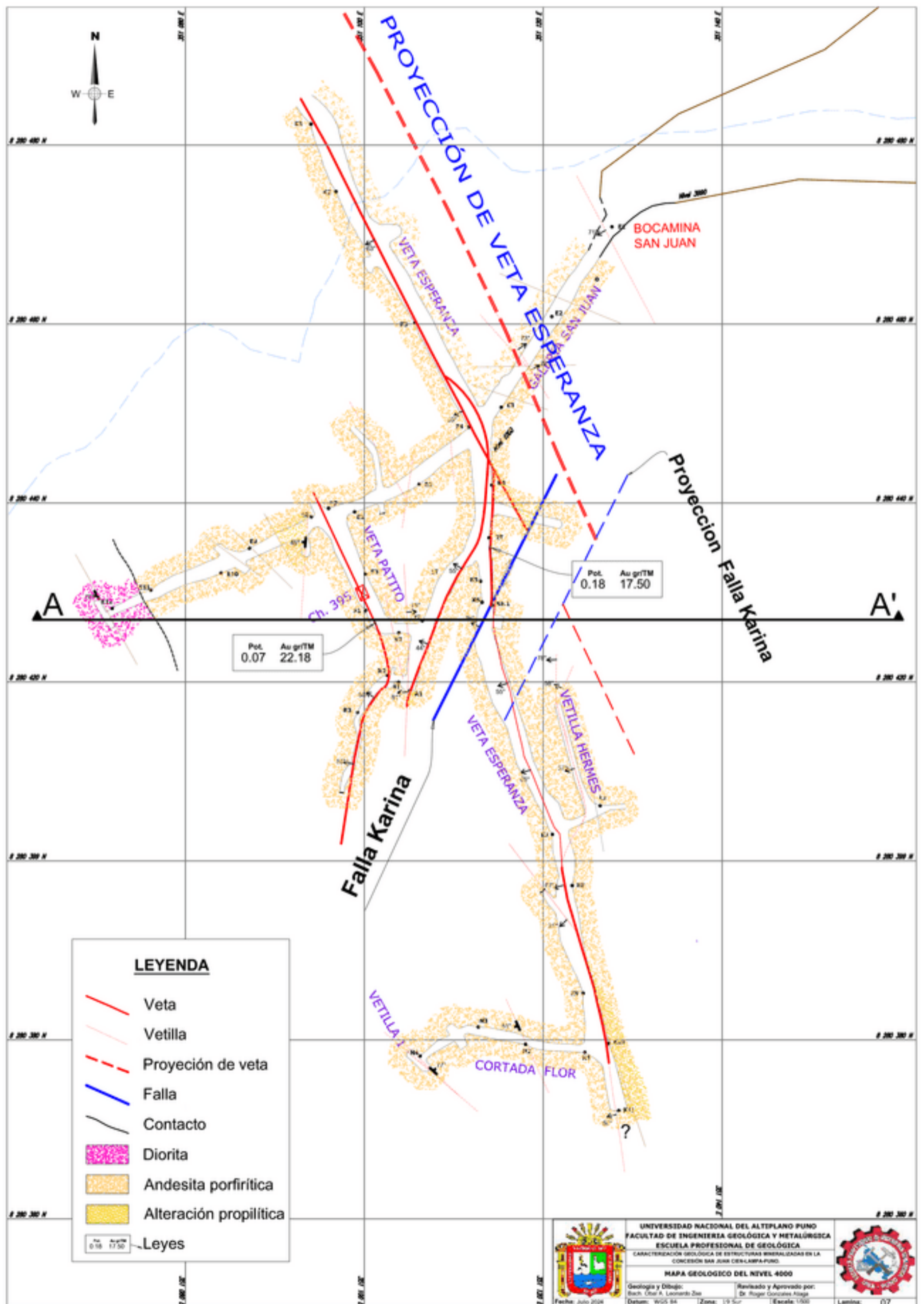
### Figura 31

*Veta Patito interior mina.*



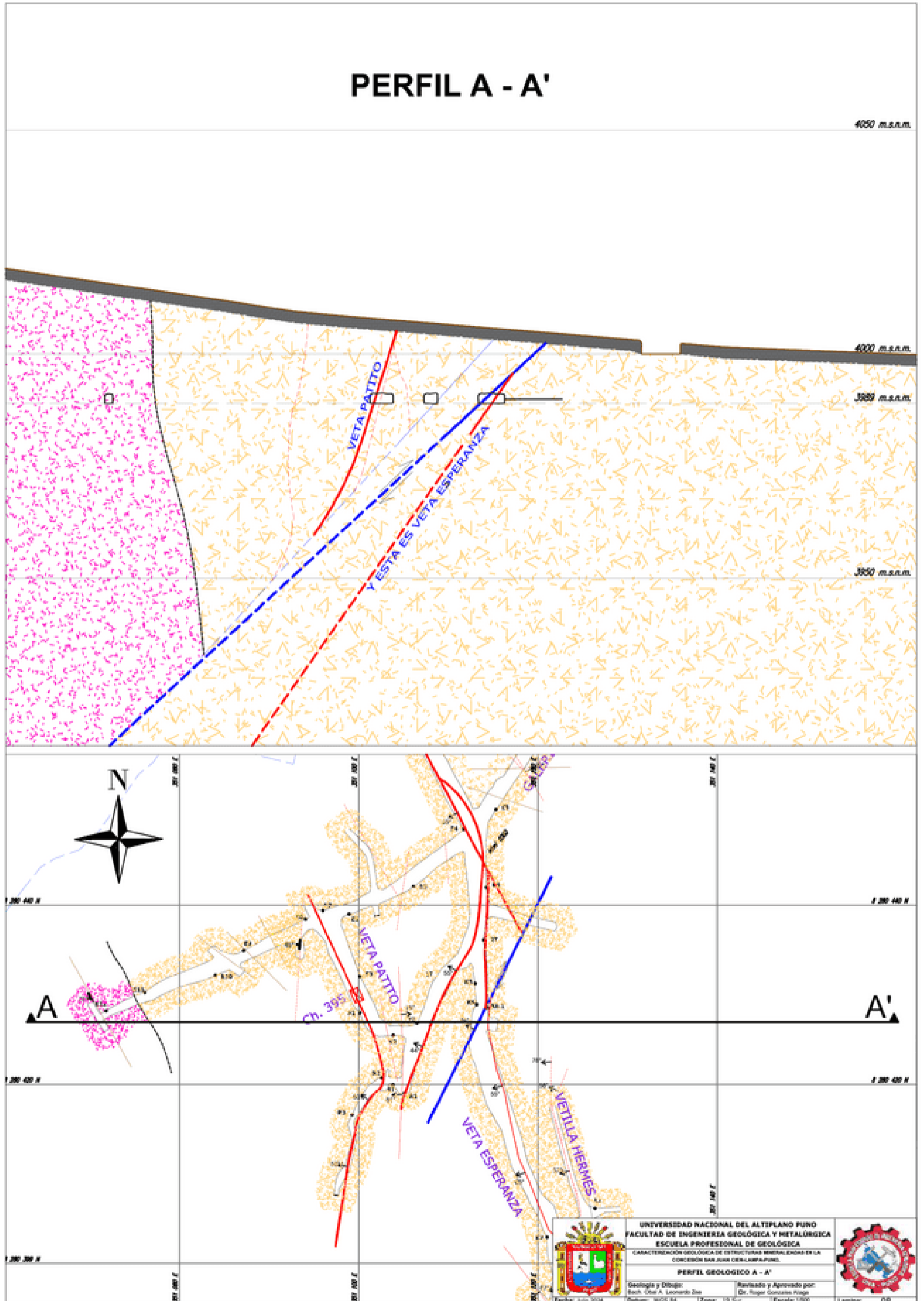
**Figura 32**

*Cartografía vetas Esperanza y Patito.*





**Figura 33**  
 Sección geológica vetas Esperanza y Patito.





### 5.1.3 Características Mineralógicas

Se interpretó dos eventos con mineralización de arsenopirita una primera con franco estado de hematización y otra sin alteración, con cristales de formas subhedrales, esta última relacionada a cuarzo con tonalidades blancas. La arsenopirita se encuentra en forma diseminada en la roca caja de andesita, este mineral tiene una textura de reemplazamiento, el cual aprovecha los microfracturamientos producto de fenómenos tectónicos y llegan a la textura esquelética (box worck).

La hematita bordea cristales de arsenopirita en forma de microvenillas y tiene un comportamiento diseminado en la ganga de cuarzo. El cuarzo se presenta en forma oquerosa en tramos de la estructura mineralizada, esto como producto de la oxidación de minerales sulfuros (arsenopirita y pirita).

La mineralización de Au ocurre en vetillas dispersas con distribución errática, cuyos granos tienen formas irregulares, los cuales se relacionan casi siempre con calcopirita y pirrotita. La Pirrotina se encuentra diseminada con tamaños menores a 0.1 mm y mantiene una relación de ocurrencia con oro; ambos minerales se encuentran en la ganga de cuarzo con tonalidad amarilla.

Los minerales presentes en la veta Patito y la veta Esperanza, como cuarzo, malaquita, azurita, goethita, hematita y limonita, son indicativos de procesos de meteorización y alteración. Su presencia sugiere que el entorno geológico ha sido afectado por condiciones que favorecen la formación de minerales secundarios. la malaquita y azurita indican un ambiente oxidante rico en cobre, la goethita, hematita y limonita son minerales de hierro que reflejan procesos de alteración y meteorización (ver figura 34).

### 5.1.3.1 Mineralogía

#### a) Minerales de mena

- Hematita
- Arsenopirita
- Bornita
- Calcopirita
- Malaquita
- Azurita

#### b) Minerales de ganga

- Cuarzo
- Goethita
- Limonita
- Pirita
- Pirrotita

### Figura 34

*Minerales de mena y ganga, vetas Esperanza y Patito.*



### 5.1.3.2 Características microscópicas

- **Petrografía**

Fotomicrografías tomadas con luz transmitida en NII (izquierda) y NX (derecha), con objetiva 4x de las muestras RC-01 y RC-02. En donde se encontraron: Cuarzo petrogenético (QzP), cuarzo hidrotermal (QzH), sericita (Sta), clorita (Cta), biotita (Bta) y mineral opaco (Mo) (ver las figuras 35 y 36).

En general presenta una textura de reemplazamiento por alteración hidrotermal. Aquí se observan dos tipos de cuarzo; uno de origen hidrotermal de textura granoblástica con límites regulares y puntos triples; y el otro cuarzo petrogenético o primario con bordes corroídos, pequeñas microfracturas y de hábito anhedral a subhedral (fotomicrografía A). Los minerales de alteración presentes en la muestra indican una moderada silicificación, sericitización y cloritización (fotomicrografía B) puntual. La sericita correspondería a la alteración cuarzo – sericita gris verde, que se observa en los pórfidos de cobre, en donde normalmente se asocia a minerales como calcopirita y pirita (estos sulfuros fueron descritos en muestra de mano), para esto ver la fotomicrografía C. Se observa también relictos de biotita que se están alterando, algunas de ellas a cloritas. La sericita ocupa en muestra 45%, el cuarzo 35%, biotita 15% y minerales opacos 5%. Los minerales opacos en algunos casos muestran formas euhedrales. Muestra RC-01 (ver figura 38).

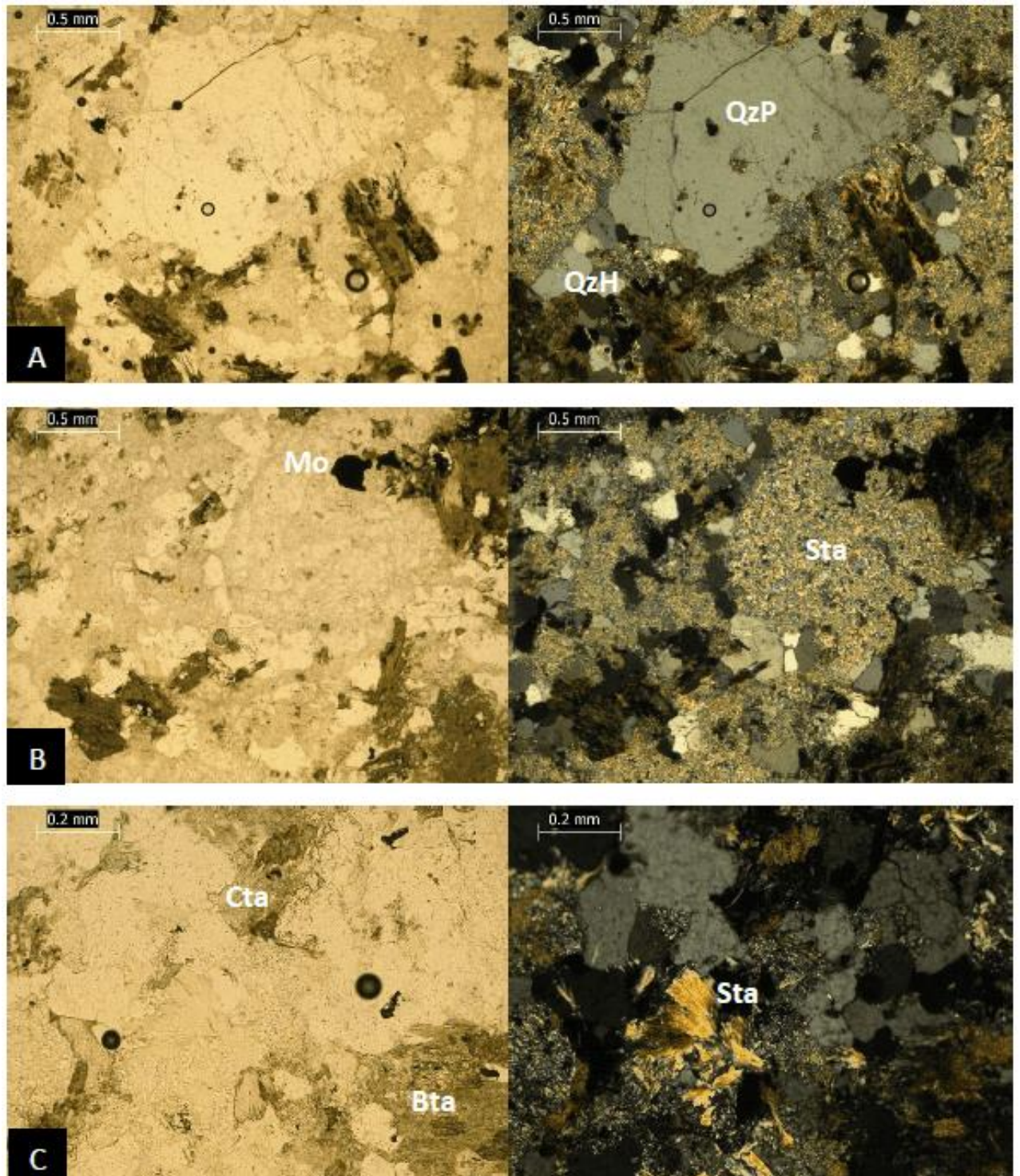
Expone una moderada alteración de microcristales de plagioclasas a sericita. Presenta cuarzo de tres tipos; uno con formas redondeadas, otro



con cristales de origen petrogenético con formas euhedrales a subhedrales y finalmente cúmulos de cristales de cuarzo de textura granoblástica con puntos triples (ver fotomicrografías A, B y C).

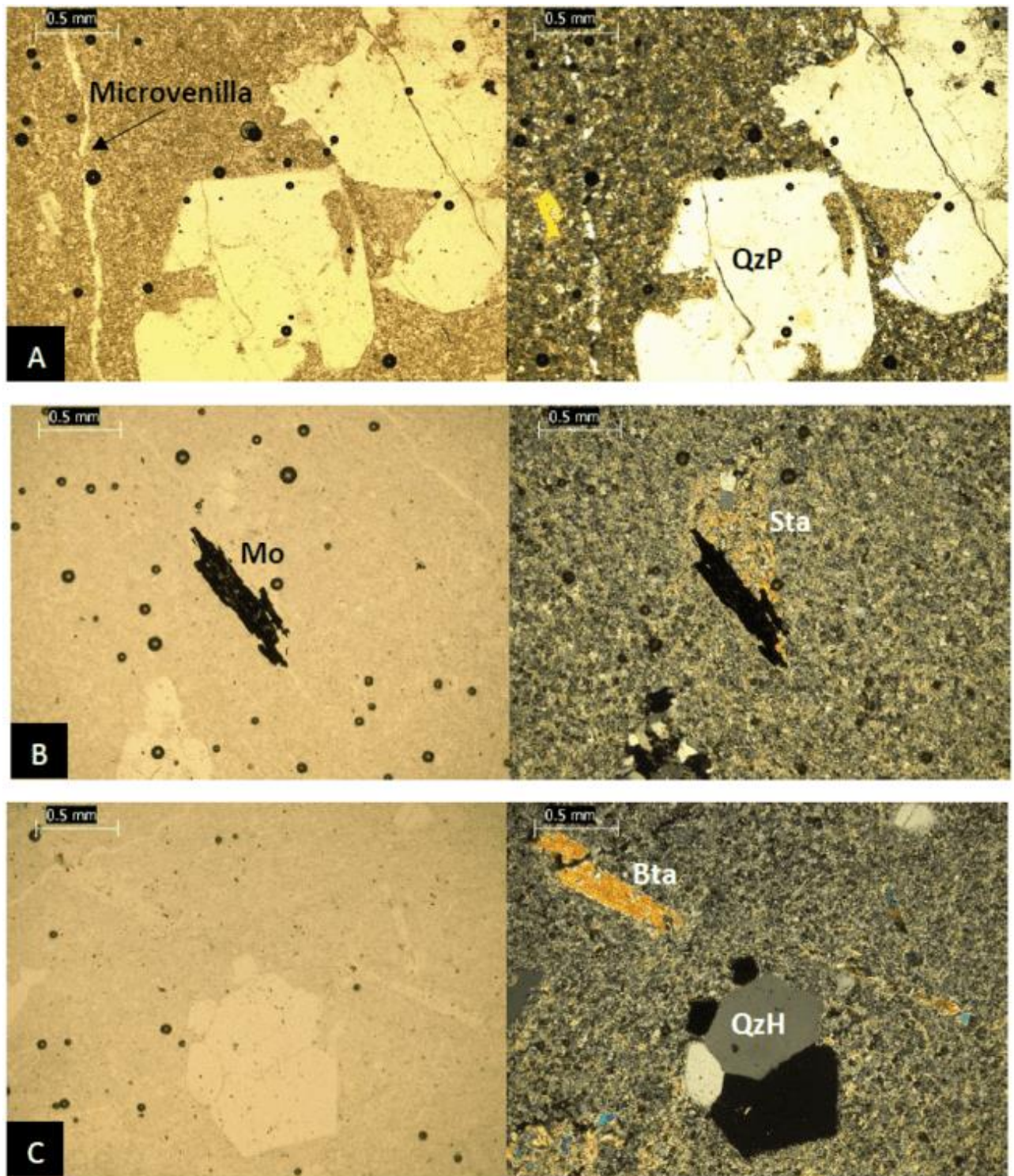
### Figura 35

#### Muestras RC-01



### Figura 36

Muestras RC-02



La matriz lo conforman microlitos con diseminaciones de minerales opacos que ocurren junto a sericita, la cual forma fiammes en forma de llama

compacta (ver fotomicrografía B). La sericita como mineral de alteración rellena microfracturas de cristales de cuarzo petrogenético; estos presentan en la mayoría de casos golfos o enbahiamentos producto de reabsorción de microlitos y sericita (ver fotomicrografía A). Presenta también microvenillas de cuarzo granoblástico que atraviesa la muestra en forma intermitente; el cuarzo granoblástico presenta inclusiones de sericita. Se trata de un tufo lapilli o toba de cristales moderadamente alterado. Muestra RC-02 (figura 36).

- **Minerografía**

Se muestran fotomicrografías tomadas con luz reflejada en NII (izquierda) y NX (derecha), con objetiva 10x de las muestras VES-01, VES-02 y VES-03, que corresponden a la veta Esperanza. Arsenopirita (Aspy), hematita (Hta), Pirita (Py), pirrotita (Po), oro (Au) y cuarzo (Qz). (figuras 37, 38 y 39).

Se muestra, arsenopirita la cual ocurre diseminada con formas mayormente anhedrales y en sectores puntuales subhedrales (ver fotomicrografía A). Se interpreto dos eventos con mineralización de arsenopirita una primera con franco estado de hematización y otra sin alteración (cristales subhedrales) relacionada a cuarzo con tonalidades blancas (figura 37).

La hematita, se encuentra bordeando a cristales de arsenopiritas con formas anhedrales, en microvenillas y diseminada en gangas de cuarzo (ver fotomicrografía D). El cuarzo presenta oquedades producto de la oxidación de minerales sulfurados (arsenopirita y pirita), en estos sectores se observa textura equelética.





Indica mineralización de Au disperso y distribuidas esporádicamente; tiene cristales con formas anhedrales y tamaños menores a 0.1mm (ver fotomicrografía A), (Ver figura 38).

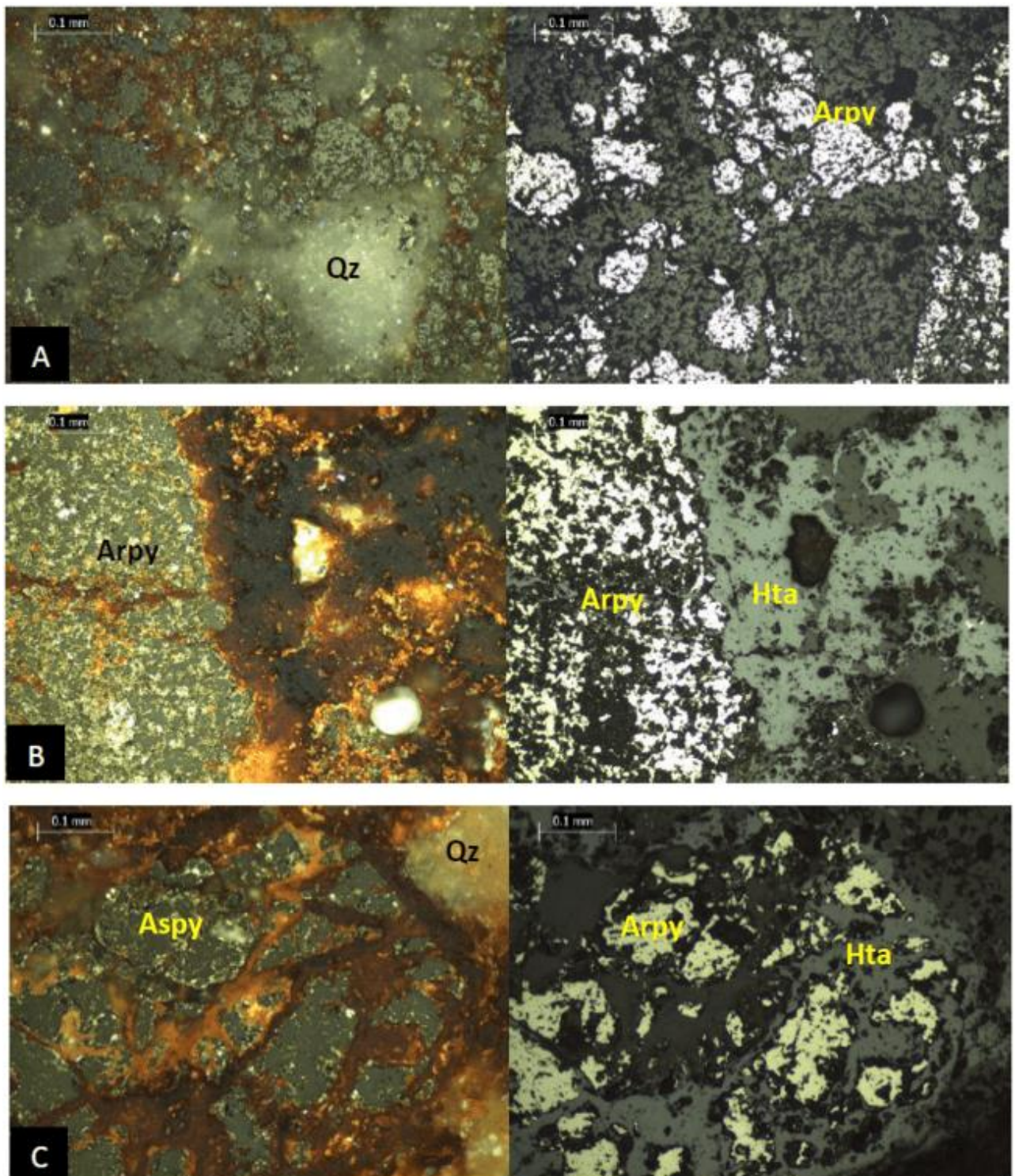
La arsenopirita se encuentra con una corona o textura de reemplazamiento por hematita (ver fotomicrografía B y C). El reemplazamiento aprovecha los microfracturamientos producto de fenómenos tectónicos y llegan a la textura esquelética en la mayor parte de los casos (ver fotomicrografía 39).

Se muestra una microbrecha monomítica tipo crackel matriz soportada, formada por clastos angulosos de pirita de diversos tamaños y matriz de cuarzo hidrotermal (ver fotomicrografía A). Pirrotina muy diseminada con formas subédrales, los tamaños de partículas son menores a 0.1 mm y mantiene una relación de ocurrencia con oro; ambos minerales se encuentran en la ganga de cuarzo de tonalidad amarilla (ver fotomicrografía B), (ver figura 38).

El Au se presenta con granos irregulares y muy diseminados, los cuales se relacionan con calcopirita y pirrotita; estos están en una matriz de cuarzo con presencia de óxidos de hierro. Las partículas de Au, tienen tamaños entre 0.1mm hasta 0.3mm (ver fotomicrografía C) y se observa a mayor aumento que este también ocurre como inclusiones acompañadas dentro de pirrotina.

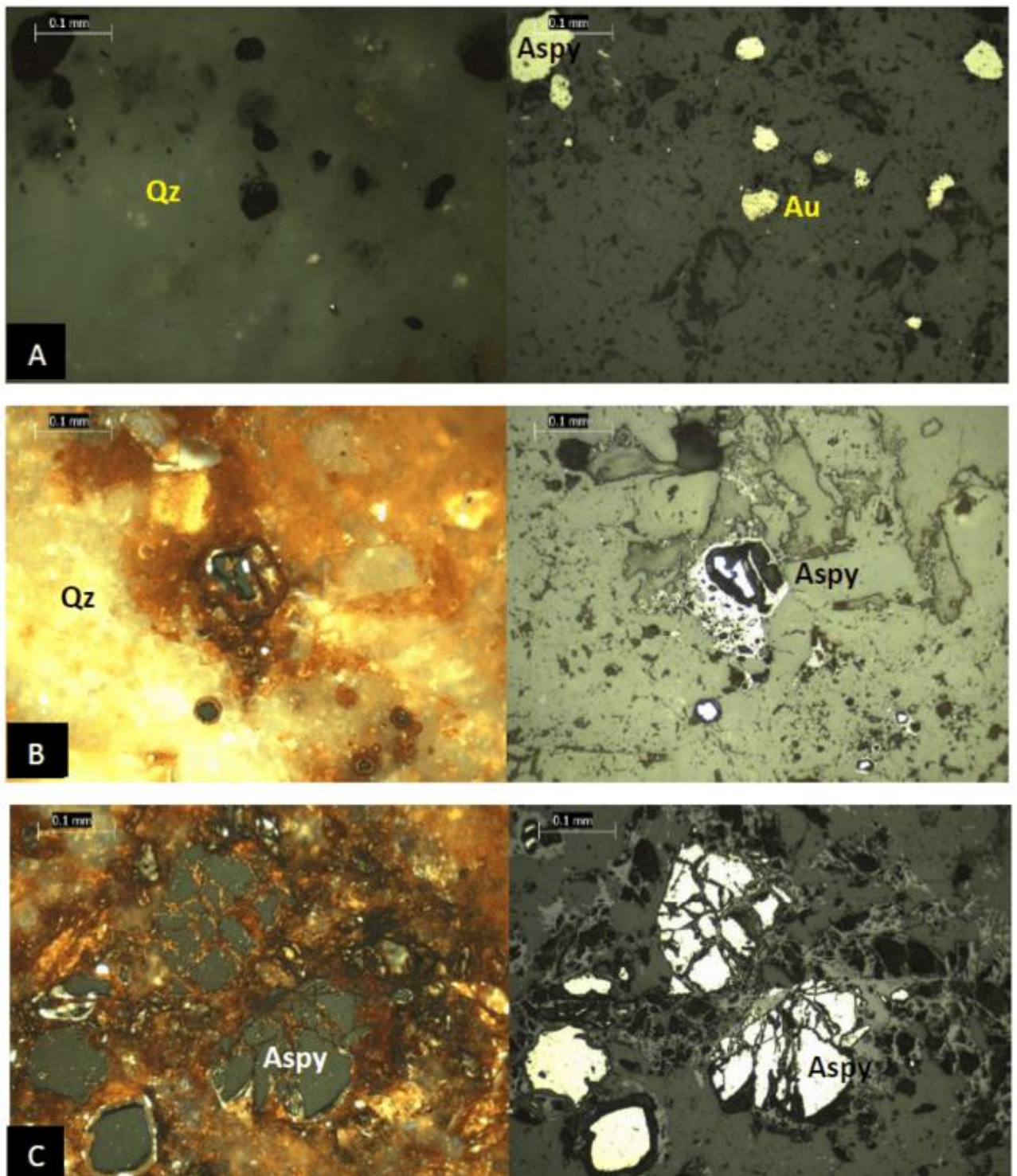
### Figura 37

Muestras VES-01



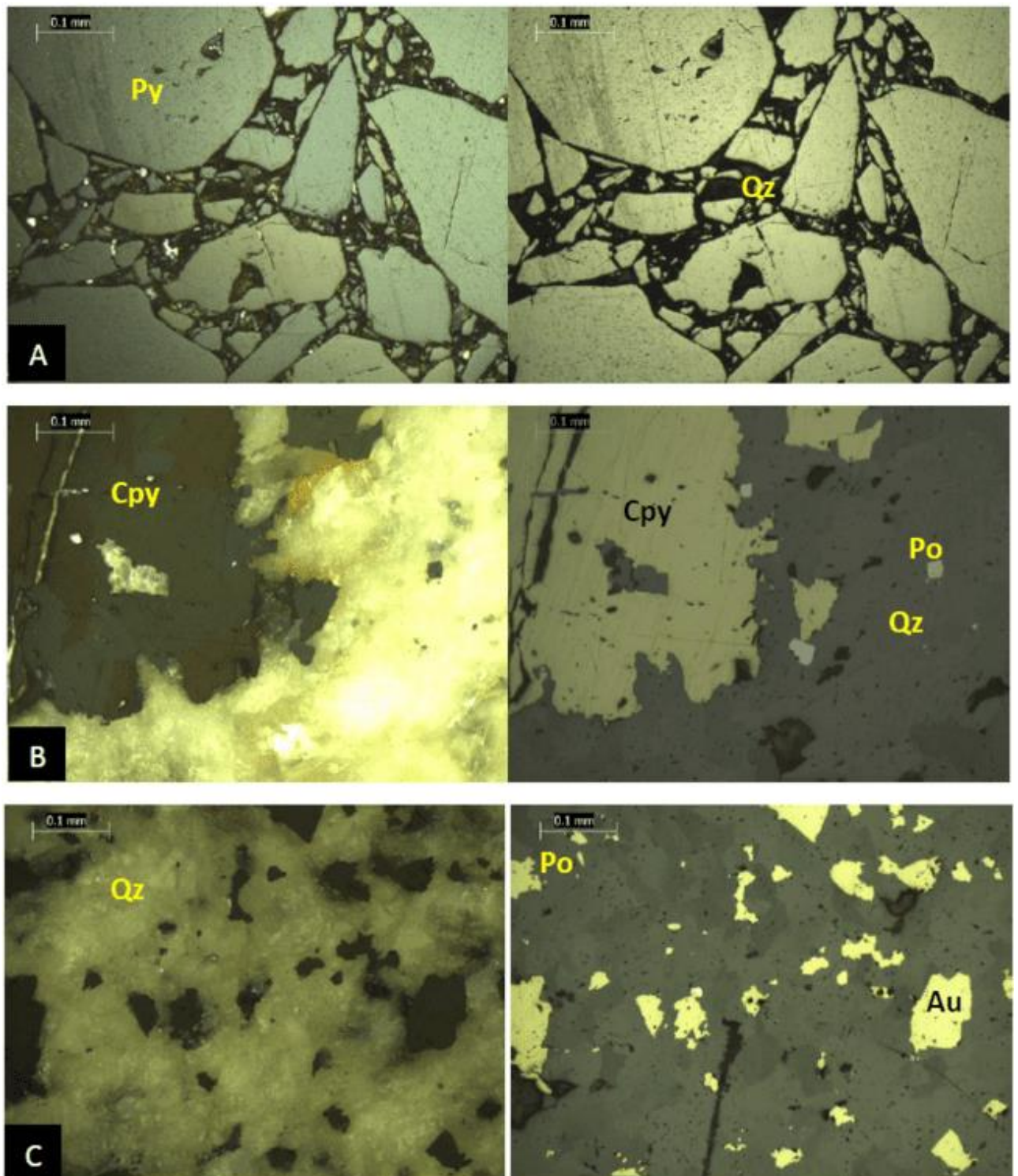
### Figura 38

Muestras VES-02



### Figura 39

Muestras VES-03





## 5.2 CONCENTRACIONES DE ORO Y SU IMPORTANCIA GEOECONÓMICA

### 5.2.1 Ocurrencia de Oro y su Importancia Geoeconómica

Los resultados obtenidos mediante microscopía resaltan la veta Esperanza como una zona de gran interés para la exploración de minerales auríferos. Esta veta se caracteriza por estructuras vetiformes que están incrustadas en rocas andesíticas, las cuales presentan características geológicas favorables de contener mineralización de oro. Este tipo de rocas son típicas en ambientes donde se ha producido actividad hidrotermal.

La identificación de minerales como pirita, pirrotina, calcopirita y oro en las muestras analizadas subraya la importancia económica de esta veta. La pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) son especialmente relevantes, ya que no solo son indicadores de mineralización de cobre, sino que también pueden asociarse con la mineralización de oro. Además, la presencia de cuarzo hidrotermal y óxidos de hierro, junto con signos de alteración hidrotermal, son indicadores positivos de la existencia de mineralización en la zona.

En la veta Esperanza, el oro es el mineral de mayor valor económico y está asociado con sulfuros (calcopirita, pirrotita, pirita y arsenopirita). Entre estos, la pirita y la calcopirita son los minerales más abundantes y se encuentran de forma diseminada en la roca. Las mayores concentraciones de oro se han encontrado precisamente en estructuras de cuarzo.

**Tabla 3**

*Resultado de análisis de la Veta Esperanza y veta Patito por: Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría.*

Muestra	Nombre de Muestra	Descripción de la muestra	Ley de Au gr/TM	Ley de Au (oz/TC)
MN17009392	Veta Esperanza	Mineral granulado	17.5	0.5105
MN17009393	Vetilla paralela a la Veta Esperanza	Mineral granulado	0.629	0.01834
MN17009394	Roca caja de la Veta Esperanza	Mineral granulado	0.292	0.00947
MN23025217	Veta Patito	Mineral granulado	22.18	0.6472

### 5.2.2 Análisis Químicos en las Estructuras Mineralizadas

- **Método de ensayo a fuego para oro, gravimetría.**

La Veta Esperanza, con Ley de Au: 17.5 gr/TM (0.5105 oz/TC), muestra una alta concentración de oro en su estructura principal, lo que la convierte en una zona prometedora para la explotación.

La Vetilla Paralela a La Veta Esperanza, con Ley de Au: 0.629 gr/TM (0.01834 oz/TC), tiene una concentración de oro significativamente menor que la veta principal, sugiriendo una menor prioridad para la explotación.

Roca Caja, con Ley de Au: 0.292 gr/TM (0.00947 oz/TC), la roca caja pegada a la Veta Esperanza contiene una baja concentración de oro, indicando que el oro está principalmente concentrado dentro de la veta principal.

Veta Patito, con Ley de Au: 22.18 gr/TM (0.6472 oz/TC), presenta la mayor concentración de oro entre todas las muestras analizadas, lo que la convierte en una prioridad alta para la explotación.

Ley promedio sería de 12 gr/TM, de las vetas Patito y Esperanza

**Tabla** **4**

*Resultados de la veta Patito y ensayo multi - elemental por ICP-OES (32 elementos).*

Código de Muestra		MN23025217				
Nombre de Muestra		Veta Patito San Juan 100				
<b>*563</b>		<b>*598</b>				
<b>As</b>	<b>Ag</b>	<b>Al</b>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>	
<b>ppm</b>	<b>Ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	
386.6	b<0.50	>10000	51.21	14.33	50.08	
<b>*598</b>		<b>*598</b>				
<b>Ba</b>	<b>Be</b>	<b>Bi</b>	<b>Ca</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	
<b>ppm</b>	<b>Ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	
68.24	b<0.44	1761	454	b<0.080	b<0.70	
<b>*598</b>		<b>*598</b>				
<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Ga</b>	<b>In</b>	<b>K</b>	<b>Li</b>
<b>ppm</b>	<b>Ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
b<0.55	998.5	>10000	32.21	b<1.0	6220	b<1.4
<b>*598</b>		<b>*598</b>				
<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Ga</b>	<b>In</b>	<b>K</b>	<b>Li</b>
<b>ppm</b>	<b>Ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
b<0.55	998.5	>10000	32.21	b<1.0	6220	b<1.4
<b>*598</b>		<b>*598</b>				
<b>Sb</b>	<b>Se</b>	<b>Sn</b>	<b>Sr</b>	<b>Te</b>	<b>Ti</b>	<b>Tl</b>
<b>ppm</b>	<b>Ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
b<1.1	b<1.4	b<1.5	120.16	b<2.1	16.603	b<0.97

- **Método de ensayo multi - elemental por ICP-OES, digestión multi-ácida.**

Concentración de Arsénico (386.6 ppm):

El arsénico es un indicativo común en depósitos mineralógicos donde se encuentran metales valiosos como el oro y el cobre. La presencia de arsénico puede influir en el proceso de extracción de minerales, debido a su toxicidad.



#### Presencia de Bismuto (1761 ppm):

Este nivel de bismuto es considerablemente alto. Su presencia puede indicar un ambiente geológico favorable para la mineralización.

#### Elevados Niveles de Cobre (998.5 ppm):

La cantidad de cobre presente es significativa, lo que resalta el potencial de la veta para ser una fuente importante de este metal. El cobre es esencial en muchas industrias, especialmente en electricidad y construcción. Esto hace que la veta sea económicamente relevante.

#### Alto Contenido de Hierro (>10,000 ppm):

Este alto nivel de hierro indica que la roca contiene minerales ricos en hierro.

Aluminio (>10,000 ppm) y Potasio (6220 ppm): Estos altos niveles indican que la roca está compuesta principalmente de minerales silicatados, lo que proporciona información valiosa sobre su composición y origen geológico.

Estos resultados recalcan la importancia de la veta Patito como una zona con un alto potencial para la exploración y explotación de minerales metálicos.

Los niveles significativos de metales como arsénico, bismuto, cobre y hierro indican que la veta Patito tiene un alto potencial mineralógico.





## VI. CONCLUSIONES

- Según la descripción y cartografiado geológico la litología predominante corresponde al Paleozoico, del Grupo Cabanillas, que incluye areniscas, areniscas cuarzosas, lutitas grises y areniscas lutáceas. Además, se encuentran rocas volcánicas del Cenozoico, como andesita y dacita. Algunas de estas rocas volcánicas muestran brechas resultantes de la interacción con fluidos hidrotermales y están intruidas por rocas de composición granodiorítica a diorítica. El comportamiento estructural tiene orientaciones NO-SE, NE-SO, NS, con predominancia de buzamientos  $50^\circ$  NO, de bajo ángulo.
- Las características mineralógicas están constituidas por un sistema de vetas tipo simoidales, tipo rosario constituido por minerales de mena; hematita, arsenopirita, bornita, calcopirita, malaquita, azurita y como minerales de ganga se tiene Cuarzo, Goethita, Limonita, Pirita, Pirrotita. En las vetas Esperanza y Patito, se tiene de leyes de 0.629 gr/TM a 17.5 gr/TM.



## VII. RECOMENDACIONES

- Continuar con las labores de exploración y desarrollo sobre la veta Esperanza y la veta Patito.
- Realizar estudios geofísicos y geoquímicos en áreas adyacentes de la concesión, en las principales estructuras con la finalidad de incrementar sus recursos.
- Implantar un software 3D que permita el modelamiento del yacimiento, así como la cuantificación de recursos y posibles reservas. Facilitando la cuantificación de recursos y la planificación de la extracción.





## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J., Rodriguez, J., Valencia, M., & Flores, A. (2011). *Proyecto GE 33, "Metalogenia Y Geología Económica Por Regiones". Memoria Sobre La Geología Económica De La Región Puno*. Lima - Perú: INGEMMET.
- Aguirre Cernades, H. C. (2017). *Caracterización y exploración geológica del Proyecto Crucero-Puno*.
- Apaza Pacara, H. G. (2022). *Caracterización geológica del proyecto minero San Antonio, Río Grande-Condesuyos-Arequipa*. Obtenido de Tesis pregrado - Universidad Nacional del Altiplano.
- Bateman, A. M. (1982). *YACIMIENTOS MINERALES DE RENDIMIENTO ECONOMICO* (6ta ed.). Barcelona: Omega, S. A.
- Camprubi, A., & Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1), 27-81.
- Chura, P. (2017). *Evaluación Geológica De La Veta Serpiente Del Yacimiento Muccumayo Carabaya – Puno*. .
- Dávila B., J. (2006). *Diccionario Geológico*. Lima: Talleres Gráficos Full Graphic.
- Fornari, M., Mamani, M., Ibarra, I., & Carlier, G. (2002). Datación del período volcánico "Tacaza" en el altiplano del Perú y Bolivia. *Sociedad Geológica del Perú*, 21.
- Garcés, H. (1984). *Geología Económica de los Yacimientos Minerales*.
- Garcia, F. (2023). *ESTUDIO GEOLÓGICO DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS DEL ÁREA DE CANCAHUINE OCUVIRI-LAMPA-PUNO*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Giggenbach, W. F. (1992). Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries *Economic Geology*. 87, 194.



- Hedenquist, J., Arribas, A. J., & Gonzalez, E. (2000). *Exploration for epithermal gold deposits*. (13 ed.).
- Hobbs, B. E. (1981). *Geología estructural*. (Barcelona, Ed.) Omega.
- INGEMMET. (1993). *Geología del cuadrángulo 32-v (Puno) Carta Geológica Nacional Boletín 139 A-42*. Lima-Perú: INGEMMET.
- INGEMMET. (2003). *INGEMMET, Compendio de yacimientos minerales del Perú*. Lima-Perú: 437 – 340 INGEMMET.
- INGEMMET. (2005). *Minería a pequeña escala en la costa sur media del Peru*. Lima-Perú: DGREM 137 , Boletín N° 3, INGEMMET.
- INGEMMET, B. S. (1993). *Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del 269 Lago 144 Titicaca – Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur)*. Lima-Perú: INGEMMET.
- Jenks, W. (1946). Tertiary and Quaternary vulcanism in southern Peru. *Geological Society of America Bulletin*.
- Laubacher, G. (1978). Géologie de la Cordillère Orientale et de l'Altiplano au nord et nord-ouest du lac Titicaca. *Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer*, 217.
- Lindgren, W. (1931). *Mineral Deposits*". New York – USA.
- Mamani Malaga, Y. E. (2021). *Exploración de la veta milagrosa en el nivel 1670, Esperanza Sur mediante perforaciones diamantina-Minera Aurífera Cuatro de Enero SA-Cháparra-Caravelí-Arequipa*. Obtenido de Tesis de Pregrado - Universidad Nacional del altiplano.
- Melo, C. F. (2018). *Geología y mineralización del cuerpo mascota en el yacimiento Yauricocha-Sociedad Minera Corona SA Lima-Yauyos*.



- Newell, N. (1949). Geology of the Lake Titicaca region, Perú and Bolivia. *Geological Society of America*, 58, 111.
- Orche, E. (1999). Distribución de los minerales en distintos niveles de los yacimientos.
- Ordóñez Malla, F. P. (2013). *Estudio de geología, mineralización y alteraciones en la concesión minera Cascabel, provincia de Imbabura*. Obtenido de (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013): <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6748>
- Palacios, O., De La Cruz, J., De La Cruz, N., Klinck, B., Allison, R., & Hawkins, M. (1993). Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca – Surdel Perú. *Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 257.
- Ramos Yapo, P. P. (2022). *Estudio geológico para la prospección de nuevas zonas de interés económico en el sector de Callanquitas proyecto Igor-La Libertad*.
- Rodríguez Rodríguez, H. X. (2022). *Caracterización geológica y mineralógica de la veta “Venado” en la mina Leliatere. Cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay*. Obtenido de Tesis de Pregrado - Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59859>
- Rosas, E. (2022). *Estudio geoeconómico de la veta Matacaballo en la mina Caudalosa Grande, Huancavelica*.
- Satián, L., & Alonso, J. (2019). Caracterización geológica y mineralógica de las vetas “San José” y “La Arenosa”, en la mina Santa Marianita de la parroquia Malvas, cantón Zaruma provincia de El Oro. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 13(2), 111-118.
- Thompson, A. J. (1996). Atlas of Alteration, a field and petrographic guide to hydrothermal Alteration Minerals. *Geological Association of Canada Mineral Deposits Division*, 127.



Tumialán, P. (2003). *Compendio De Yacimientos Minerales del Perú*. Lima-Perú:

INGEMMET.

Valencia, M., & Rosell, W. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización*

*del Cuadrángulo de Puno (32-v), Escala 1:50 000*. Instituto Geológico Minero y

Metalúrgico, Lima.

Vilca Diaz, B. G. (2018). *Geología económica de las vetas de la zona mineralizada*

*Gisela de mina Esperanza, Caravelí-Arequipa*.



## ANEXOS





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo obal Abimael Leonardo Zea  
, identificado con DNI 47204527 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA GEOLOGICA

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

" CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DE ESTRUCTURAS

MINERALIZADAS EN LA CONCESIÓN SAN JUAN CIEU-LAMPA-PUNO"

" 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 21 de Agosto del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Obal Abimael Leonardo Zea  
, identificado con DNI 47204527 en mi condición de egresado de:

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

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

Título Profesional denominado:

" CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DE ESTRUCTURAS MINERALIZADAS EN LA CONCESIÓN SAN JUAN CIEN-LAMPA-PUNO"

" 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 21 de Agosto del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella