



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



**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERAGRÁFICA**  
**DEL MACIZO ULTRAMÁFICO DE TAPO, SECTOR ACOBAMBA**  
**- TARMA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ANIBAL SEMINARÍO VELARDE FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERAGRÁFICA DEL MACIZO ULTRAMÁFICO DE TAPO, SECTOR ACOBAMBA - TARMATA**

AUTOR

**ANIBAL SEMINARÍO VELARDE FLORES**

RECuento de palabras

**25979 Words**

RECuento de caracteres

**151709 Characters**

RECuento de páginas

**159 Pages**

Tamaño del archivo

**23.2MB**

Fecha de entrega

**Oct 15, 2024 10:19 AM GMT-5**

Fecha del informe

**Oct 15, 2024 10:21 AM GMT-5**


● **6% 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
- 0% 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
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material citado

  
Roger Gonzales Aliaga  
ING. GEÓLOGO



Resumen



## DEDICATORIA

*A mi querido padre Edgar Velarde, por el apoyo incondicional en todo momento, por inculcarme valores, buenos hábitos, a no rendirme, perseverar a través de sus sabios consejos y por la fuente inagotable de cariño y amor.*

*A mi tía Teófila, por tanto, cariño y apoyo, a mis tíos Ángel y Humberto Velarde por estar siempre al pendiente de mi bienestar, sus buenos consejos y confianza.*

*A José Bernardo por su compañía desde muy niño, a Mahatma y mis primos, Yerzon, Grover, Jhonatan, Dennyce y Hernan, gracias por la confianza y todo el apoyo brindado.*

*A Erika Fanny, por ser la compañía perfecta en todo momento, por el amor, comprensión, y apoyo brindado durante estos años en la elaboración de este trabajo de investigación.*

*Anibal Seminario Velarde Flores*



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios todo poderoso por brindarme fortaleza en cada paso de esta vida, por guiarme y protegerme en todo momento y hacer posible, cosas increíbles gracias a su bendición.*

*A mi asesor Dr. Roger Gonzales Aliaga, asesor académico en el presente trabajo de investigación - tesis, por su tiempo en la orientación y apoyo en todo momento durante la elaboración de este arduo trabajo.*

*A, Laboratorio de Yacimientos Minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, UNA PUNO, encabezado por el Ing. Roberto Zegarra Ponce y a todo su equipo de trabajo del área de microscopía.*

*A la Ing. Luz María Montes Villalobos por el apoyo, consejos, sugerencias y compartir sus conocimientos y experiencias brindadas desde mis inicios como practicante en el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.*

*A todos mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, UNA PUNO, por compartir sus mejores experiencias y conocimientos en el maravilloso mundo de la Geología.*

*Anibal Seminario Velarde Flores*





# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>20</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>25</b>
1.2.1 Identificación del problema.....	25
1.2.2 Valoración del problema .....	25
1.2.3 Formulación del problema .....	25
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
1.4.1 Objetivos Generales .....	26
1.4.2 Objetivos específicos .....	26
<b>1.5 HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....</b>	<b>27</b>
1.5.1 Hipótesis General .....	27
1.5.2 Hipótesis Especificas .....	27



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1</b>	<b>GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>28</b>
2.1.1	Macizo Ultramáfico de Tapo .....	28
2.1.1.1	Macizo.....	28
2.1.1.2	Estudios previos .....	28
2.1.1.3	Serpentinas del macizo ultramáfico .....	29
2.1.2	Grupo Huaytapallana .....	30
2.1.3	Grupo Ambo.....	31
<b>2.2</b>	<b>PETROGRAFÍA .....</b>	<b>33</b>
2.2.1	Conceptos básicos .....	33
2.2.1.1	Definición.....	33
2.2.1.2	Composición mineralógica de rocas metamórficas .....	33
2.2.1.3	Clasificación de rocas metamórficas.....	34
2.2.2	Rocas ultramáficos .....	35
2.2.2.1	Composición Mineralógica General .....	35
2.2.2.2	Clasificación de rocas ultramáficas.....	37
2.2.3	Rocas Serpentinizadas.....	39
2.2.3.1	Petrogénesis .....	39
2.2.3.2	Mineralogía de las serpentinitas.....	40
2.2.3.3	Geoquímica general de las serpentinitas .....	41
<b>2.3</b>	<b>MINERAGRAFÍA .....</b>	<b>42</b>
2.3.1	Conceptos básicos .....	42
2.3.1.1	Definición.....	42
2.3.2	Mineralogía común en rocas ultramáficas .....	42



2.3.2.1	Óxidos .....	42
2.3.2.2	Cromita.....	43
2.3.2.3	Sulfuros .....	44
2.3.3	Mineralogía relacionada a serpentinitas .....	45

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>47</b>
3.1.1	Etapa de pre campo .....	47
3.1.2	Etapa de campo .....	48
3.1.3	Etapa de Gabinete .....	52
3.1.4	Etapa de Laboratorio .....	54
3.1.4.1	Caracterización petrográfica .....	55
3.1.4.2	Caracterización minerográfica .....	56
3.1.4.3	Determinación de principales minerales de interés económico. .....	58
<b>3.2</b>	<b>INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES .....</b>	<b>58</b>
3.2.1	Instrumentos, equipos y materiales utilizados en campo .....	58
3.2.2	Equipos y materiales utilizados en gabinete .....	59
3.2.3	Equipos y materiales utilizados en laboratorio .....	59
3.2.4	Software .....	61
3.2.5	Equipos de Protección Personal (EPPs) .....	62

### **CAPÍTULO IV**

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

<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>64</b>



<b>4.3</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>69</b>
4.4.1	Afloramientos del macizo ultramáfico de Acobamba.....	72
<b>4.5</b>	<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA .....</b>	<b>76</b>
4.5.1	Muestra: ACOB-009 .....	76
4.5.2	Muestra: ACOB-001 .....	77
4.5.3	Muestra: ACOB-002 .....	78
4.5.4	Muestra: ACOB-003 .....	80
4.5.5	Muestra: ACOB-007 .....	81
4.5.6	Muestra: ACOB-008 .....	83
4.5.7	Muestra: ACOB-010 .....	84
4.5.8	Muestra: ACOB-012 .....	85
4.5.9	Muestra: ACOB-015 .....	87
4.5.10	Muestra: ACOB-004 .....	88
4.5.11	Muestra: ACOB-005 .....	89
4.5.12	Muestra: ACOB-011 .....	91
4.5.13	Muestra: ACOB-014 .....	92
4.5.14	Muestra: ACOB-006 .....	93
4.5.15	Muestra: ACOB-013 .....	95

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>5.1</b>	<b>CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y RELACIÓN ESPACIAL DE LOS MINERALES .....</b>	<b>98</b>
5.1.1	Muestra: ACOB - 009 .....	98
5.1.2	Muestra: ACOB - 001 .....	99



5.1.3	Muestra: ACOB - 002 .....	101
5.1.4	Muestra: ACOB - 003 .....	102
5.1.5	Muestra: ACOB – 007 .....	103
<b>5.2</b>	<b>MUESTRA: ACOB – 008.....</b>	<b>104</b>
5.2.1	Muestra: ACOB – 010 .....	105
5.2.2	Muestra: ACOB – 012 .....	106
5.2.3	Muestra: ACOB – 015 .....	107
5.2.4	Muestra: ACOB – 004 .....	108
5.2.5	Muestra: ACOB – 005 .....	109
5.2.6	Muestra: ACOB – 011 .....	110
5.2.7	Muestra: ACOB – 014 .....	111
5.2.8	Muestra: ACOB – 006 .....	113
5.2.9	Muestra: ACOB – 013 .....	114
<b>5.3</b>	<b>MINERAGRAFÍA Y PARAGÉNESIS.....</b>	<b>117</b>
5.3.1	Muestra: ACOB – 009 .....	117
5.3.2	Muestra: ACOB – 001 .....	118
5.3.3	Muestra: ACOB – 002 .....	119
5.3.4	Muestra: ACOB – 003 .....	121
5.3.5	Muestra: ACOB – 007 .....	122
5.3.6	Muestra: ACOB – 008 .....	123
5.3.7	Muestra: ACOB – 010 .....	124
5.3.8	Muestra: ACOB – 012 .....	125
5.3.9	Muestra: ACOB – 015 .....	127
5.3.10	Muestra: ACOB – 004 .....	128
5.3.11	Muestra: ACOB – 005 .....	129



5.3.12	Muestra: ACOB – 011 .....	130
5.3.13	Muestra: ACOB – 014 .....	131
5.3.14	Muestra: ACOB – 006 .....	132
5.3.15	Muestra: ACOB – 013 .....	134
5.3.16	Paragénesis y Secuencia Paragenética .....	135
<b>5.4</b>	<b>MINERALIZACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>140</b>
5.4.1	Muestra: ACOB – 003 .....	140
5.4.2	Muestra: ACOB – 003 .....	140
5.4.3	Muestra: ACOB – 015 .....	141
5.4.4	Muestra: ACOB – 015 .....	142
5.4.5	Muestra: ACOB – 007 .....	142
5.4.6	Muestra: ACOB – 007 .....	143
5.4.7	Muestra: ACOB – 010 .....	144
5.4.8	Muestra: ACOB – 010 .....	144
5.4.9	Muestra: ACOB – 002 .....	145
5.4.10	Muestra: ACOB – 011 .....	146
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>151</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>156</b>

**Área : Geología Regional**

**Tema : Petrografía y Mineragrafía**



**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de octubre de 2024**





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Principales minerales metamórficos. ....	34
<b>Tabla 2</b> Principales Rocas Metamórficas.....	35
<b>Tabla 3</b> Composición mineralógica de rocas ígneas. ....	37
<b>Tabla 4</b> Tabla de coordenadas de ubicación, del área de estudio .....	64
<b>Tabla 5</b> Tabla de accesibilidad.....	65
<b>Tabla 6</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-007.....	115
<b>Tabla 7</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-009.....	118
<b>Tabla 8</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-001.....	119
<b>Tabla 9</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-002.....	121
<b>Tabla 10.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-003.....	122
<b>Tabla 11.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-007.....	123
<b>Tabla 12.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-008.....	124
<b>Tabla 13.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-010.....	125
<b>Tabla 14.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-012.....	127
<b>Tabla 15.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-015.....	128
<b>Tabla 16.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-004.....	129
<b>Tabla 17.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-005.....	130
<b>Tabla 18.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-011.....	131
<b>Tabla 19.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-014.....	132
<b>Tabla 20.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-006.....	134
<b>Tabla 21.</b> Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-013.....	135
<b>Tabla 22.</b> Resumen de composición modal del afloramiento 1. ....	135
<b>Tabla 23.</b> Resumen de composición modal del afloramiento 2. ....	136
<b>Tabla 24.</b> Resumen de composición modal del afloramiento 3. ....	136
<b>Tabla 25.</b> Resumen de composición modal del afloramiento 4. ....	136
<b>Tabla 26.</b> Resumen de composición modal roca caja. ....	137
<b>Tabla 27.</b> Paragénesis y Secuencia Paragenética del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba. ....	137
<b>Tabla 28.</b> Resultado del Análisis por Fluorescencia de Rayos X, de la muestra ACOB-007.....	147



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> (NXs) Serpentin (SPTs), cortadas por venilla de magnesita (mgs) y disseminaciones de minerales opacos (MOPs). Fuente: Uribe, R. (2012) ....	29
<b>Figura 2</b> (NXs) Textura grano-nematoblástica, de niveles alternos de minerales félsicos (FELs) y máficos (MAFs). Fuente: Uribe, R. (2012).....	29
<b>Figura 3</b> (NXs) Distribución de cristales, anfíboles (ANFs), biotita (bt), cloritas (CLOs), plagioclasas (PGLs) y cuarzo (cz). Fuente: Uribe, R. (2012).....	29
<b>Figura 4</b> (NXs) Anfíboles (ANFs) en cristales relícticos, cuyos bordes se muestran corroídos por las serpentin (SPTs). Fuente: Uribe, R. (2012) .....	29
<b>Figura 5</b> Mapa geológico Regional 24I-II Fuente: Cueva et al., (2006). .....	32
<b>Figura 6</b> Diagrama Ol-Px-Hb para rocas ultramáficas (Cuando M > 90) Según Streckeisen, Fuente: Dibujo propio, referenciado de (Castro Dorado, 1989) .....	38
<b>Figura 7</b> Diagrama Pl-Px-Hb para rocas ultramáficas (Cuando M > 90) Según Streckeisen, Fuente: Dibujo propio, referenciado de Castro Dorado (1989). .....	39
<b>Figura 8</b> (N/s) Clastos angulosos de cromita (cr) disseminada de color marrón, mostrando bordes alterados a minerales opacos. Fuente: Uribe, R. (2012), 45	
<b>Figura 9</b> (NXs) La misma vista mostrando el comportamiento isótropo de la cromita (cr) y el hábito hojoso de la antigorita (ant). Fuente: Uribe, R. (2012), .....	45
<b>Figura 10</b> Esquema de la metodología de investigación, Fuente: Tica, S. (2020) INGEMMET-DGR-GR39B.....	47
<b>Figura 11</b> Primera salida a campo, mayo de 2019, Labores abandonadas de Mina San Felipe, donde se realizó la extracción de cromita .....	48
<b>Figura 12</b> Primera salida a campo, mayo 2019. Sobre afloramientos de peridotitas serpentinizadas, área de estudio zona Acobamba, fotografía con vista hacia el NE. ....	50
<b>Figura 13</b> Afloramiento de rocas máficas serpentinizadas, silisificadas.....	52
<b>Figura 14</b> Muestras de mano, para la descripción macroscópica. ....	53
<b>Figura 15</b> Mapa topográfico y ubicación de las muestras obtenidas en campo. ....	54

<b>Figura 16</b>	Secciones delgadas de 30 micras de espesor, para la descripción petrográfica. .....	56
<b>Figura 17</b>	Secciones pulidas, para la descripción minerográfica.....	57
<b>Figura 18</b>	Microscopio de polarización Leica DM2700P .....	60
<b>Figura 19</b>	Estereomicroscopio Leica EZ4 .....	60
<b>Figura 20</b>	Difractómetro de Rayos X, Bruker D2 Phaser y muestra prensada.....	61
<b>Figura 21</b>	Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X, Bruker S2 PUMA.....	61
<b>Figura 22</b>	Software Las EZ. ....	62
<b>Figura 23</b>	Segunda salida a campo, agosto 2023, se observa el poblado de Yanama Alto, y el uso de los principales EPPs para campo. Fotografía con dirección al SE. .....	63
<b>Figura 24</b>	Mapa de ubicación .....	66
<b>Figura 25</b>	Mapa de accesibilidad.....	67
<b>Figura 26</b>	Vista hacia el NE, Valles en V, Fondo el poblado de Palca, panorama donde se observa las diferentes y principales unidades geomorfológicas presentes en la zona. ....	69
<b>Figura 27</b>	Vista panorámica del área de Acobamba - Comunidad Yanama Alto, en el cual se observa los 4 cuerpos peridotíticos serpentinizados (Cerro Huaylloccha), emplazados en una secuencia filítica con presencia de cuarzo paralelo a la foliación. Fuente: (Gonzales, 2010) .....	70
<b>Figura 28</b>	Mapa geológico local .....	71
<b>Figura 29</b>	Mapa geológico de afloramientos ultramáficos .....	74
<b>Figura 30</b>	Sección geológica A-B .....	75
<b>Figura 31</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 009 .....	76
<b>Figura 32</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 001 .....	77
<b>Figura 33</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 002 .....	79
<b>Figura 34</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 003 .....	80
<b>Figura 35</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 007 .....	82
<b>Figura 36</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 008 .....	83
<b>Figura 37</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 010 .....	84
<b>Figura 38</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 012 .....	86
<b>Figura 39</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 015 .....	87
<b>Figura 40</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 004 .....	88
<b>Figura 41</b>	Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 005 .....	90



<b>Figura 42.</b> Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 011 .....	91
<b>Figura 43.</b> Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 014.....	92
<b>Figura 44.</b> Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 006.....	94
<b>Figura 45.</b> Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 013.....	95
<b>Figura 46.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-009: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	98
<b>Figura 47.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-001: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	99
<b>Figura 48.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-002: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	101
<b>Figura 49.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-003: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	102
<b>Figura 50.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-007: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	103
<b>Figura 51.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-008: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	104
<b>Figura 52.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-010: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 10x (A y B) 5x (C y D) .....	105
<b>Figura 53.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-012: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 10x (A y B) 5x (C y D). .....	106
<b>Figura 54.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-015: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	107
Figura 55. Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-004: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	108
<b>Figura 56.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-005: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	109
<b>Figura 57.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-011: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	111
<b>Figura 58.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-014: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	112
<b>Figura 59.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-006: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).....	113
<b>Figura 60.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-013: NX (A y C ), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	114



<b>Figura 61</b>	Diagrama Pl-Px-Hb, campo 6, Gabronorita piroxeno – hornblendico.....	116
<b>Figura 62.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-009: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 20x (A y B), 10x (C y D). .....	117
<b>Figura 63.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-001: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).....	118
<b>Figura 64.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-002: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	119
<b>Figura 65.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-003: NX (A y C), NP (B y D). Objetiva 50x (A - D).....	121
<b>Figura 66.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-007: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A y B), 5x (C y D) .....	122
<b>Figura 67.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-008: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	124
<b>Figura 68.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-010: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	125
<b>Figura 69.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-012: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A y B), 20x (C y D) .....	126
<b>Figura 70.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-015: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A y B), 50x (C y D). .....	127
<b>Figura 71.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-004: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	128
<b>Figura 72.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-005: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	129
<b>Figura 73.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-011: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	130
<b>Figura 74.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-014: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A y B), 20x(C y D). .....	132
<b>Figura 75.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-006: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 20x (A y B) 50x (C y D). .....	133
<b>Figura 76.</b>	Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-013: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).....	134
<b>Figura 77.</b>	Resultado del Análisis de Difracción de Rayos X, de la muestra ACOB-007. ....	139



<b>Figura 78.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-003: NX (A), NP (B) Objetiva 5x (A y B).....	140
<b>Figura 79.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-003: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).....	141
<b>Figura 80.</b> Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-015: NX (A), NP (B). Objetiva 5x (A y B).....	141
<b>Figura 81.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-015: NX (A), NP (B) Objetiva 20x (A y B).....	142
<b>Figura 82.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-007: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).....	142
<b>Figura 83.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-007: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).....	143
<b>Figura 84.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-010: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).....	144
<b>Figura 85.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-010: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).....	144
<b>Figura 86.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-002: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).....	145
<b>Figura 87.</b> Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-011: NX (A), NP (B) Objetiva 20x (A y B).....	146



## ACRÓNIMOS

- Ag : plata
- ANFs : Anfiboles
- an : Anortita
- ap : Apatito
- ARCs : Arcillas
- atg : Antigorita
- Ba : bario
- bt : Biotita
- br : Bornita
- Ca : calcio
- cac : Calcita
- cp : Calcopirita
- CLOs : Cloritas
- cst : crisotilo
- Co : cobalto
- Cr : cromo
- crm : Cromita
- Cu : cobre
- cz : Cuarzo
- dg : Digenita
- ef : esfalerita
- efn : Esfena
- EGP : elementos del grupo del platino
- ep : epidota
- Fe : hierro
- fer : ferritcromita
- Fig. : figura
- Fm : Formación
- FELs : Felsicos
- FPKs : Feldespato potásico
- GGs : Gangas
- Gpo : Grupo
- GRNs : granates
- Ha : hectareas
- hm : Hematita
- hor : hornblenda
- ilm : Ilmenita
- INGEMMET: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
- Km : Kilómetros





- lz : Lizardita
- MAFs : Máficos
- m : metros
- Mg : manganeso
- msnm : metros sobre nivel del mar
- mcl : microclina
- mgs : magnesita
- mt : magnetita
- mus : Muscovita
- NE : noreste
- Ni : níquel
- NO : noroeste
- NP : Nicoles paralelos
- NX : Nicoles cruzados
- olv : olivino
- OPs : Minerales Opacos
- OXsFe: Óxidos de hierro
- pnt : Pentlandita
- PXs : Piroxenos
- PGLs : Plagioglasas
- rt : Rutilo
- SD : secciones delgadas
- SE : sureste
- ser : sericita
- SO : suroeste
- SP : secciones pulidas
- spt : serpentina
- Ti : titanio
- tal : talco
- UTM : Universal Transversal de Mercator
- WGS84 : World Geodetic System 1984
- Zn : Zinc



## RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación, se ubica en la Cordillera Oriental, en el centro del Perú, distrito de Tapo, provincia de Tarma, departamento de Junín. El macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba, posee características geológicas sumamente interesante debido a que no es común tener esa geología en el país, sin embargo, no tiene información geológica detallada referida por ejemplo a la ocurrencia de cromo, minerales máficos y ultramáficos característicos de este tipo de macizos, más aún siendo la única en el país, son esas las principales razones que despiertan el interés científico y económico. El objetivo de esta investigación es caracterizar petrográficamente y minerográficamente, los cuatro afloramientos del macizo ultramáfico del sector Acobamba, con el fin de determinar la relación espacial, entre los principales minerales, paragénesis y los minerales de interés económico. La metodología aplicada en el presente trabajo fue desarrollada en una primera etapa de reconocimiento, obtención de muestras e información de campo, aquí se obtuvieron 15 muestras para la preparación de secciones delgadas y pulidas, posteriormente fueron elaboradas dichas secciones en un laboratorio particular, en seguida se realizó el estudio petrográfico donde se identificó minerales como: serpentinas, relictos de olivino muy puntuales, cuarzo, plagioclasas, anfíboles, piroxenos, biotitas, muscovitas, talco y arcillas básicamente. Con respecto a los estudios minerográficos las muestras del afloramiento 2 del macizo ultramáfico son de mayor interés debido a que tiene ocurrencia significativa de minerales metálicos, como: cromita (0.31%), magnetita (1.88 %), ferritcromita (0.12%), ilmenita (0.38%), hematita (0.12%), pirita (1.06%), pirrotita (0.25%), calcopirita (0.25%), pentlandita (0.06%) y bornita (0.06%), de esta estimación visual, se determina que se tiene la ocurrencia de cromo similar al macizo del sector Tapo, sin embargo económicamente el sector Acobamba tiene muy poco interés, por la muy escasa concentración sobre todo de la cromita y otros minerales de valor económico, lo positivo es que enriquece la información geológica sobre macizos o yacimientos de esas características en nuestro país.

**Palabras Clave:** Acobamba, Macizo Ultramáfico de Tapo, Minerografía, Petrografía.



## ABSTRACT

The following research work is located in the Eastern Cordillera, in central Perú, Tapo district, Tarma province, Junín department. The Tapo ultramafic massif, Acobamba sector, has extremely interesting geological characteristics because it is not common to have this geology in the country; however, it does not have detailed geological information referring, for example, to the occurrence of chromium, mafic and ultramafic minerals characteristic of This type of massif, even more so being the only one in the country, are the main reasons that awaken scientific and economic interest. The objective of this research is to characterize petrographically and mineragraphically, the four outcrops of the ultramafic massif of the Acobamba sector, in order to determine the spatial relationship between the main minerals, paragenesis and minerals of economic interest. The objective of this research is to characterize petrographically and mineragraphically, the four outcrops of the ultramafic massif of the Acobamba sector, in order to determine the spatial relationship between the main minerals, paragenesis and minerals of economic interest. The methodology applied in the present work was developed in a first stage of recognition, obtaining samples and field information, here 15 samples were obtained for the preparation of thin and polished sections, later these sections were prepared in a private laboratory, Then the petrographic study was carried out where minerals were identified such as: serpentines, very specific olivine relicts, quartz, plagioclase, amphiboles, pyroxenes, biotites, muscovites, talc and clays basically. With respect to the mineragraphic studies, the samples from outcrop 2 of the ultramafic massif are of greatest interest because it has a significant occurrence of metallic minerals, such as: chromite (0.31%), magnetite (1.88%), ferritchromite (0.12%), ilmenite (0.38%), hematite (0.12%), pyrite (1.06%), pyrrhotite (0.25%), chalcopyrite (0.25%), pentlandite ( 0.06%) and bornite (0.06%), from this visual estimate, it is determined that there is an occurrence of chromium similar to the massif of the Tapo sector, however economically the Acobamba sector has very little interest, due to the very low concentration, especially of chromite and other minerals of economic value, the positive thing is that it enriches the geological information on massif or deposits of these characteristics in our country.

**Keywords:** Acobamba, Tapo ultramafic massif, Mineralogy, Petrography.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los yacimientos ultramáficos que se tiene en el país son escasos, y los estudios realizados a ello no son muy a detalle, como si ocurre con yacimientos más característicos del Perú, que son de bastante valor económico, tales como Pórfidos de Cu, Epitermales de alta y baja sulfuración, cordilleranos, etc. sin embargo, indagando sobre yacimientos no comunes como, los ultramáficos o de similares características, con contenido de cromo, níquel, EGP, etc. nos vimos con la sorpresa de que la información es escasa, ello nos motivó a realizar este presente trabajo denominado “Caracterización petrográfica y minerográfica del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba - Tarma”, esta investigación contiene información microscópica actualizada y a detalle, añadiendo nuevos resultados a los trabajos previos, y pueden ser utilizados como bibliografía, guía, información científica, para realizar estudios de nuevas zonas con geología similar en el país o en el extranjero.

Con la caracterización petrográfica y minerográfica se logró determinar el comportamiento espacio temporal y relación entre los principales minerales máficos, ultramáficos y cuarzo metamórfico, además se logró determinar la paragénesis del yacimiento y los principales minerales de valor económico, óxidos, como la cromita, magnetita, ilmenita, hematita; sulfuros como la pirita, bornita, pentlandita, pirrotita entre otros, también minerales de información relevante como son los granates.

### 1.1 ANTECEDENTES

Entidades Geológicas, como el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, (INGEMMET), Sociedad Geológica del Perú (SGP), Sociedad Española de Mineralogía (SEM) y otros, realizaron trabajos de investigación del macizo ultramáfico de Tapo, Tales como: “Geología de las ultramafitas pre-andinas de Tapo y Acobamba, Tarma, Cordillera



Oriental del Perú”, “Geología y estructura de las ultramafitas de Tapo y Acobamba (Tarma, Perú). removilización tectónica andina de un segmento ofiolítico pre-andino”, “Mineralogía del Macizo Ultramáfico de Tapo (Cordillera Oriental Andina, Perú)” entre otros.

El macizo ultramáfico de Tapo es muy relevante debido a que constituye el único depósito de cromita conocido en el Perú desde mediados de los años 50’ (Uribe, 2012) y para esta tesis se tiene los siguientes estudios como referencia:

- **Nacionales**

Castroviejo et al., (2009) Geología de las ultramafitas pre-andinas de Tapo y Acobamba, Tarma, Cordillera Oriental del Perú. La existencia de una fuerte deformación cizallante, con milonitas y filonitas asociadas al contacto basal de las ultramafitas con las secuencias metapelíticas y siliciclasticas del basamento de la Cordillera Oriental (Ya sea el Gpo. Huacar, ya el Gpo. Ambo), así como la ausencia total de efectos de metamorfismo térmico en estas últimas, prueba el carácter alóctono de los cuerpos ultramáficos y descarta la hipótesis de una intrusión magmática ultrabásica en dichas secuencias.

Castroviejo et al., (2009) Mineralogía del Macizo Ultramáfico de Tapo (Cordillera Oriental Andina, Perú). Según los estudios que realizó concluye que las menas de cromita son del tipo podiforme y no se corresponden al tipo intrusivo; Además el quimismo de las metabasitas asociadas a las ultramafitas corresponde a materiales de corteza oceánica y no a intrusiones continentales, lo que implica un emplazamiento alóctono en su actual ubicación.

Castroviejo et al., (2010) Metalogenia asociada a los segmentos ofiolíticos de la cordillera oriental del Perú Central. Nos indica sobre la aportación de ofiolitas a la producción minera de sustancias como cromo y níquel (laterítico) o también rocas industriales, refractarios, asbesto, talco, o sulfuros masivos. También indica que se



desconoce su significado como metalotecto de MP, metales preciosos (oro y EGP o elementos del grupo del platino).

Gervilla et al., (2010) Metamorphism of chromitites in the Tapo Ultramafic Massif, Eastern Cordillera, Perú. Llegan a la conclusión de que la alteración de las cromitas siempre se caracteriza por agotamiento continuo en  $Al_2O_3$  y  $MgO$ , coetáneo con enriquecimiento en  $FeO$ .  $Cr_2O_3$ . Además, la cromita reacciona con la serpentina para formar clorita y ya sea una cromita residual rica en Cr o ferritcromita.

Gonzales, R. (2010) realizó una tesis de maestría, denominado Estudio estructural de deformación poli orogénica de la región de Acobamba -Tapo, Distrito de Tarma; Andes Centrales Peruanos. Las rocas ultramáficas de Tapo y Acobamba, antes de ser afectadas por la serpentización, eran peridotitas, también señala que estudios recientes indican la naturaleza oceánica de las litologías máficas y ultramáficas, tomado de Castroviejo 2009.

Rodríguez et al., (2010) Geología y estructura de las ultramafitas de Tapo y Acobamba (Tarma, Perú). Removilización tectónica andina de un segmento ofiolítico Pre-Andino. Donde indica que los cuerpos de serpentinitas con asociaciones menores de rocas máficas han sido interpretados como una intrusión de un magma ultrabásico profundo que se instala en forma de sills y diques en el seno de un conjunto metasedimentario de bajo grado atribuido al precámbrico.

Uribe, R. (2012), realizó una tesis de pregrado, denominado Geología, Petrografía y Mineralogía del Yacimiento de Cromita de Tapo Tarma – Perú. Hipótesis sobre el origen de dicho Yacimiento, comparte la teoría de Castroviejo, quien indica que es alóctono mas no autóctono como se creía anteriormente, en el aspecto litológico, básicamente está compuesto por serpentinitas, estas presentan una mineralogía de serpentinas de la variedad antigorita, crisotilo y lizardita.



- **Locales**

Palacios, O. (1995) Boletín 55, serie A Carta, Geológica Nacional Geología del Perú, INGEMMET. Aportan con la elaboración el Mapa geológico del cuadrángulo de Tarma (23-1) a escala 1:100000.

Megard et al., (1996) Boletín 69, serie A, Carta Geológica Nacional, Geología de los cuadrángulos de Tarma, La Oroya y Yauyos. INGEMMET. Concluye que la litología de las rocas Neoproterozoicas del Perú Central son exclusivamente metamórficas: sericitoesquistos, micaesquistos y paragneises, en los cuales están intercalados anfibolitas, algunos gabros y peridotitas.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Identificación del problema**

La existencia del macizo ultramáfico de Tapo en el país, despierta el interés económico, científico para investigar a profundidad a una escala microscópica la ocurrencia de cromita y su relación con otros minerales. El sector Acobamba requiere este tipo de estudios actualizados debido a la escasa información actualmente.

### **1.2.2 Valoración del problema**

La información petrográfica y minerográfica sobre el macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba es escasa, es de índole regional y en algunos casos se encuentra en confidencialidad, por esta razón los resultados servirán como guías en futuros estudios, del mismo yacimiento, incluso en trabajos de exploración de otros similares.

### **1.2.3 Formulación del problema**

- **Planteamiento del problema general**
  - ¿Qué características petrográficas y minerográficas tienen las diferentes variedades de rocas del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba?
- **Planteamiento del problema específico**





- ¿Cuál es la relación espacial petrográfica del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba?
- ¿Cuál es la paragénesis minerográfica del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba?
- ¿Qué minerales de interés económico presenta el macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La escasa información que se tiene de yacimientos ultramáficos de estas características, con contenido de Cr, Ni y EGP (Elementos del grupo del platino) en el País, es una de las razones fundamentales para hacer este estudio denominado “Caracterización petrográfica y minerográfica del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba - Tarma”; adicionalmente, esta investigación brindará información microscópica actualizada, añadiendo nuevos resultados a los trabajos previos, que puede ser utilizada en el estudio de nuevas zonas con geología similar, como el complejo metamórfico de San José de Huánuco, entre otros.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivos Generales**

- Caracterizar petrográfica y minerográficamente las diferentes variedades de rocas del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba - Tarma.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar petrográficamente los distintos tipos de rocas y determinar la relación espacial de los minerales, del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba.



- Elaborar la paragénesis minerográfica del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba.
- Determinar minerales de interés económico del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba - Tarma.

## **1.5 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

### **1.5.1 Hipótesis General**

- La caracterización petrográfica y minerográfica determinan las relaciones espacio temporales entre los minerales del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba.

### **1.5.2 Hipótesis Especificas**

- Las relaciones espaciales petrográficamente, nos ayudan a determinar los fenómenos metamórficos ocurridos en el macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba.
- La paragénesis minerográfica nos indica la relación temporal entre los minerales, ocurrido en el macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba.
- Al ser un macizo ultramáfico se espera determinar minerales como: la cromita, magnetita, ilmenita, además sulfuros, que pueden ser, pirita, calcopirita, bornita, pentlandita y otros.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio se encuentra inmerso en el cuadrángulo de Tarma, hoja 23-I, cuadrante II, donde estas formaciones geológicas precámbricas representan las más antiguas de la Cordillera Oriental, conformada por diversas unidades, estas tienen ciertas características en común, las principales se considera la deformación polifásica y la naturaleza metasedimentaria de los protolitos, Gonzales, R. (2010). El proceso metamórfico que se da en la zona, es de bajo grado, con contenido generalmente de esquistos verdes Megard et al., (1996).

##### 2.1.1 Macizo Ultramáfico de Tapo

###### 2.1.1.1 Macizo

Según la Real Académica de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Macizo se define como: Un sistema montañoso amplio y bien definido, generalmente constituido por rocas más antiguas y más rígidas que las que lo rodean.

###### 2.1.1.2 Estudios previos

Se realizaron estudios a determinadas muestras, cuyos resultados de esos análisis químicos, indican que se trata de protolitos basálticos a microbasálticos, el diagrama spider de TR (Palme & O'Neill, 2004) corrobora este dato y las proyecciones en los diagramas de Irvine & Baragar (1971) y Jensen (1976) mencionan una foliación toleítica. La alteración dificulta gran

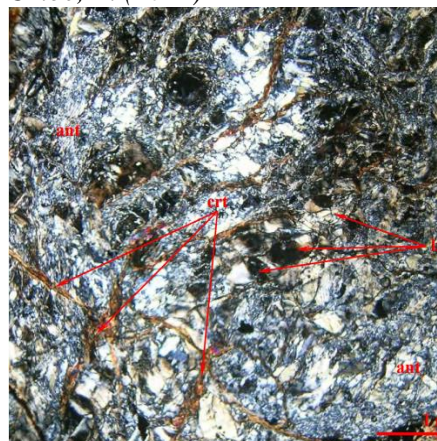
parte de las basadas en elementos traza, normalmente lixiviados hasta valores muy próximos al límite analítico. Sin embargo, puede inferirse un ambiente oceánico (dorsal o isla, resultados similares se obtienen con las proyecciones de Pearce et al., (1977)).

### 2.1.1.3 Serpentinas del macizo ultramáfico

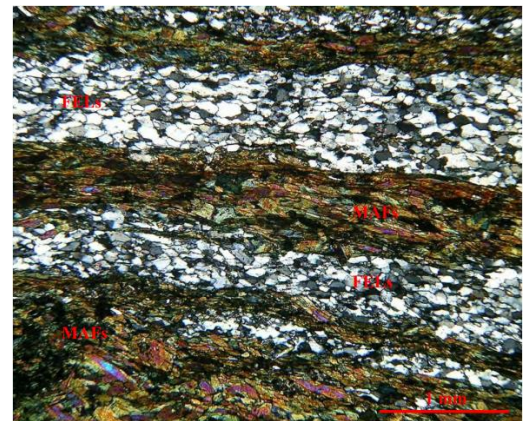
Algunas microfotografías de rocas metamórficas y principales minerales presentes en el afloramiento del complejo metamórfico de Tapo.

(Ver figuras 1, 2, 3 y 4)

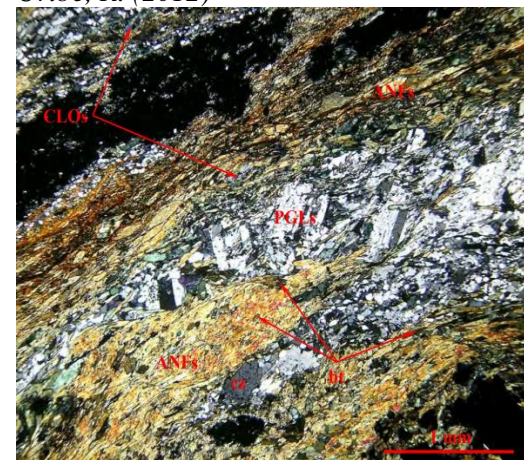
**Figura 1.**  
(NXs) Serpentinas (SPTs), cortadas por venilla de magnesita (mgs) y diseminaciones de minerales opacos (MOPs). Fuente: Uribe, R. (2012)



**Figura 2.**  
(NXs) Textura grano-nematoblástica, de niveles alternos de minerales félsicos (FELs) y máficos (MAFs). Fuente: Uribe, R. (2012)

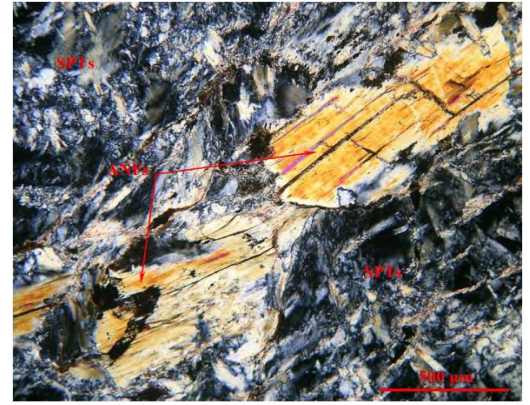


**Figura 3.**  
(NXs) Distribución de cristales, anfíboles (ANFs), biotita (bt), cloritas (CLOs), plagioclasas (PGLs) y cuarzo (cz). Fuente: Uribe, R. (2012)



**Figura 4.**  
(NXs) Anfíboles (ANFs) en cristales relícticos, cuyos bordes se muestran corroídos por las

*serpentininas (SPTs). Fuente: Uribe, R. (2012)*



### 2.1.2 Grupo Huaytapallana

Esta unidad consta de una serie metamórfica que aflora en la cordillera Oriental entre Huancayo y Ayacucho. El grupo Huaytapallana se subdivide en 2 unidades, la primera litológicamente constituida por esquistos albiticos con (cuarzo, clorita y anfíbol) (Cueva, 2006) las que afloran obedeciendo el control estructural de rumbo andino, NW-SE desde la localidad de Tapo hacia el NW del cuadrante, y al borde NE pasando hacia el cuadrante I, de la Hoja 23-I, desde Fundo Llaucubamba hacia el N. (Ver figura 5), mientras que la segunda unidad aflora en dos zonas, al sur, localidad de Tapo y al norte pequeños cuerpos, localidad de Acobamba, formada principalmente por peridotitas serpentinizadas, metagabros, anfíbolitas y cromitas Cueva et al., (2006).

Se le atribuye el período Pre-Cámbrico, por correlacionar con estudios realizados a las granulitas del Puente Duran, ubicada entre Tingo María y Chinchao (consideradas las rocas más intensamente metamorfizadas de la cordillera oriental) la datación fue realizada por el método U/Pb en cristales de zircón dando como resultado una edad aproximada de 610 a 630 millones de años, (Dalmaurac, 1977, Grandin, 1977 y Dalmayrac, 1988). Asimismo, en la costa sur del Perú, el basamento metamórfico Pre-Devoniano ha sido datado en 660 millones de años por Stewart



(1974). Estos datos han permitido colocar en al Grupo Huaytapallana. dentro del período Pre-Cámbrico.

### **2.1.3 Grupo Ambo**

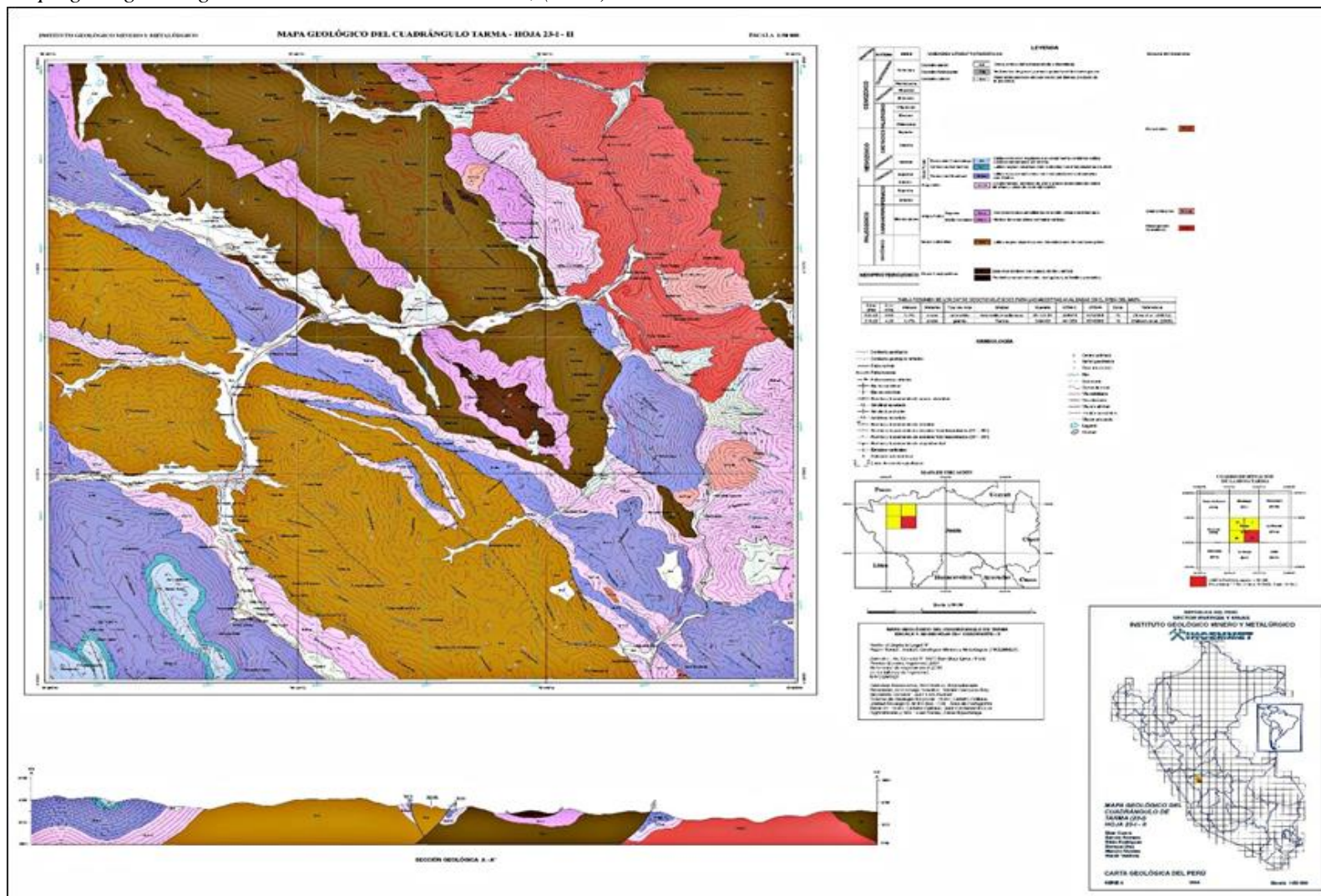
El Grupo Ambo, se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular sobre el Pre-Cámbrico, el cual, hacia al W y S, en contacto con la peridotita, se inicia con un conglomerado de grano medio a grueso, que contiene clastos de rocas metamórficas, cuarzo filoniano, cuarcitas y menos frecuentemente rocas intrusivas, la secuencia continúa con areniscas algo feldespáticas e intercalaciones de limolitas (Ver figura 5) Megard, et al., (1996). Adicionalmente, presenta areniscas blanco amarillentas de medio volcans sedimentarias Cueva et al., (2006).

En el contacto E y NE, el Grupo Ambo se presenta como volcánicos esencialmente de naturaleza tobácea, compuesta mayormente de horizontes dacíticos éstos se encuentran suprayaciendo a los esquistos precámbricos. Además, niveles de lavas grises en matriz verdosa Cueva et al., (2006).

A este Grupo se le atribuye una edad del Mississipiano (Carbonífero Inferior), debido a la presencia de fósiles como Rhacopteris, y un tronco de Lepidophiton, ubicada entre Acobamba y Palca, estos fósiles son plantas características de esa época. Megard, et al., (1996).



**Figura 5**  
 Mapa geológico Regional 24I-II Fuente: Cueva et al., (2006).







## 2.2 PETROGRAFÍA

### 2.2.1 Conceptos básicos

#### 2.2.1.1 Definición

Ciencia que es parte de la Geología, el cual se encarga de estudiar desde el origen, evolución y composición de las rocas, lo cual involucra la observación como parte transcendental, en función a ello se ordena, obedeciendo cuatro aspectos importantes las cuales son, composición mineralógica, textura, clasificación y observaciones; los tres primeros son fundamentales para determinar cualquier tipo de roca. Castroviejo, R. (1998)

#### 2.2.1.2 Composición mineralógica de rocas metamórficas

Existen una amplia variedad de minerales y algunos de ellos son exclusivos de rocas metamórficas, porque los procesos se desarrollan a temperaturas y presiones elevadas. Minerales como la limonita, yeso, anhidrita, ópalo, glauconita, y otros arcillosos son inestables a temperaturas y presiones no ambientales. Minerales que se podrían considerar como exclusivos de las rocas metamórficas son: andalucita, cianita, estauroлита y wollastonita, mientras que la tremolita, actinolita y granates no necesariamente indican metamorfismo, pero son comunes al igual que la clorita, serpentina, talco y epidota Castillo, H. (2021).

A continuación, se presenta un cuadro de los minerales más comunes de rocas metamórficas y relación con su origen.

**Tabla 1**

*Principales minerales metamórficos.*

<b>MINERAL</b>	<b>ORIGEN MÁS FRECUENTE</b>
Cuarzo	Por introducción, recristalización o como residuo.
Feldespatos	Por introducción y como resultado del metamorfismo térmico.
Hornblenda	A partir de rocas medias y básicas.
Tremolita y actinolita	Generalmente por alteración de la hornblenda o piroxenos, también por reorganización de las rocas a temperaturas moderadas.
Wollastomita	A partir de calizas
Moscovita	A partir de sedimentos arcillosos y de rocas con feldespatos potásicos.
Biotita	A partir de sedimentos arcillosos.
Magnetita	A partir de sedimentos ferruginosos.
Calcita	Por recristalización de calizas.
Dolomita	Por recristalización de dolomitas (rocas).
Grafito	A partir de sustancias carbonosas de las rocas sedimentarias.
Clorita	Por recristalización de minerales arcillosos, por alteración de biotita y hornblenda.
Serpentina	A partir de peridotitas y piroxenitas
Talco	Generalmente por alteración de la serpentina.
Epidota	A partir de minerales ígneos generalmente, con proporciones adecuadas de calcio, aluminio y silicio.
Granates	Formación muy compleja a temperaturas muy elevadas en diversos ambientes geológicos.
Andalucita	A partir de sedimentos arcillosos.
Cianita	Formación compleja a elevadas temperaturas y presiones
Estaurolita	A partir de minerales ígneos generalmente, con proporciones adecuadas de calcio, aluminio y silicio.

*Fuente: Castillo, H. (2021).*

### **2.2.1.3 Clasificación de rocas metamórficas**

La siguiente clasificación tiene soporte básicamente en características texturales y de composición. Apreciando esas características se clasifica en dos grupos, como rocas foliadas o esquistos y no foliadas o masivas, por ejemplo, dentro de los primeros tenemos, filitas, esquistos, gneises y anfibolitas y el siguiente grupo por corneanas, granulitas, cuarcitas, mármoles y eclogitas. Castroviejo, R. (1998)

**Tabla 2**

*Principales Rocas Metamórficas*

ROCAS METAMORFICAS					
ROCA	TAMAÑO DE GRANO	RASGOS COMPOSIC.	ESTRUCTURAS Y MICROESTR.	TEXTURA	METAMOR_FISMO
FILITA	Afanítica	Sericita (Q) (Cl), (Bi)	Esquistosidad	Lepidoblást.	Regional bajo grado.
ESQUISTO	Fanerítica	Menos de 20% de fk	Esquisto y band. Campos	Lepidoblást. Granolepid.	Regional, bajo y medio.
ESQUISTO NODULOSO	Fanerítica	= esquistos + cord, and	Esquistos y nódulos meta	Lepidoblást. Granolepid.	Contacto bajo grado.
CORNEANA	Afanítica fanerítica	Composición variada	Masiva o band. Isótropa	Lepidoblást. Granolepid.	Contacto gr. Media y alto.
GNEIS	Fanerítica	Más de 20% de fk	Band. Esquisto Fol. Metam.	Granoblást.	Regional gr. Medio y alto.
ANFIBOLITA	Fanerítica	Anfibol	Band. O masi. Esquis. Lin.	Granoblást. Granonemat.	Regional gr. Bajo y medio.
GRANULITA	Fanerítica	Minerales anhidros	Masiva o band. Isótropa	Nematoblást.	Regional grado alto.
CUARCITA	Fanerítica	Cuarzo	Masiva (Isótropa)	Granoblast.	Regional (contacto)
MARMOL	Fanerítica	Calcita dolomita	Mas. o band. Isótropa	Granoblast.	Regional (contacto)
ECLOGITA	Fanerítica	Onfacita granate	Mas. o band. Isótropa	Granoblast.	Regional alto grado.

*Fuente: Castro Dorado (1989)*

**2.2.2 Rocas ultramáficas**

**2.2.2.1 Composición Mineralógica General**

La clasificación de las rocas ígneas está constituida principalmente por la composición mineralógica, y esto se logra determinar con el microscopio petrográfico. Por medio de la composición de los minerales de rocas ígneas se pueden agrupar en minerales primarios, secundarios y xenogénicos. Castillo, H. (2021).

**a. Minerales primarios**

Son minerales formados durante el proceso magmático, generalmente resultan cristalizados lo que facilita su identificación con cierta facilidad en una roca ígnea intrusiva, en cambio en las efusivas o volcánicas se les ubica



en forma de fenocristales. estos se clasifican en principales y accesorios  
Castillo, H. (2021).

#### **b. Minerales secundarios**

Son minerales formados posterior al proceso magmático, generalmente son el resultado de alteraciones hidrotermales y cambios de la condición del medio, como presión, temperatura, etc. Castillo, H. (2021).

#### **c. Minerales xenogénicos**

Son minerales no habituales en rocas ígneas, no propio del proceso magmático sino por adsorción de rocas preexistentes que hacen variar la composición química del fundido y al cristalizar lo hace en forma de minerales xenogénicos. Generalmente lo hacen minerales ricos en aluminio como el corindón y sillimanita, en caso sea rico en carbonatos de calcio se genera la wollastonita, estos tres minerales son típicos de origen metamórfico, sin embargo, se pueden encontrar en rocas ígneas Castillo, H. (2021).

**Tabla 3**

*Composición mineralógica de rocas ígneas.*

<b>Composición mineralógica de las rocas ígneas.</b>				
<b>CLASE</b>	<b>SUBCLASE</b>	<b>TIPO</b>	<b>GRUPO</b>	<b>MINERALES</b>
<b>PRIMARIOS</b>	Principales	Félsicos	Cuarzo	Cuarzo a, cuarzo b, calcedonia, ópalo, tridimita, cristobalita, lechatelierita.
			Feldespatos alcalinos (K y Na)	Ortoclasa, adularia, sanidina, microclina, anortoclasa.
			Feldespatos; sódico – cálcico (Plagioclasas)	Albita, oligoclasa, andesina, labradorita, bytownita, anortita
			Feldespatoides	Leucita, nefelina, cancrinita, sodalita, melilita
		Máficos	Piroxenos	Enstatita, hiperstena, diópsido, pigeonita, hedenbergita, augita, egirinaaugita, egirinajadeíta, espodumena.
			Anfibol	Antofilita, cummitonita, grunerita, tremolita-actinolita, hornblenda, lamprobolita, riebeckita, glaucofana.
			Biotita	Biotita
			Olivino	Forsterita, olivino, fayalita, monticellita
			Epidota	Zoisita, clinozoisita, epidota, piedmontita, allanita.
		Accesorios	Característicos	Cromita, Espinela, Monacita y Eudialita
No característicos	Apatito, Circón, Magnetita y Titanita.			
<b>SECUNDARIOS</b>				Caolinita, Sericita, Clorita, Serpentina.
<b>XENOGÉNICOS</b>				Corindón, Sillimanita, Wollastonita.

*Fuente: Introducción a la Petrografía, Castillo, H. (2021).*

### 2.2.2.2 Clasificación de rocas ultramáficas

Por los años 1964 y 1967, el petrólogo de profesión A. Strekeisen, planteo una propuesta de clasificación debido a los problemas que había para asignarle nombre a una roca ígnea. En 1970 la International Unión of Geological Sciences (IUGS) creo una subcomisión para la sistemática de rocas ígneas. En 1972 dicha subcomisión reunida en Montreal, recomendó el uso de la propuesta de Strekeisen. Castillo, H. (2021).

Una vez realizado el análisis modal de la roca, se agrupan los minerales en félsicos (claros) y máficos (oscuros) y se suma los porcentajes de minerales máficos (M), para utilizar el diagrama adecuado.

$$M = 100 - (Q+A+P+F)$$

Si,  $M < 90$  , se aplicará el diagrama de doble triángulo QAPF de Streckeisen (1976)

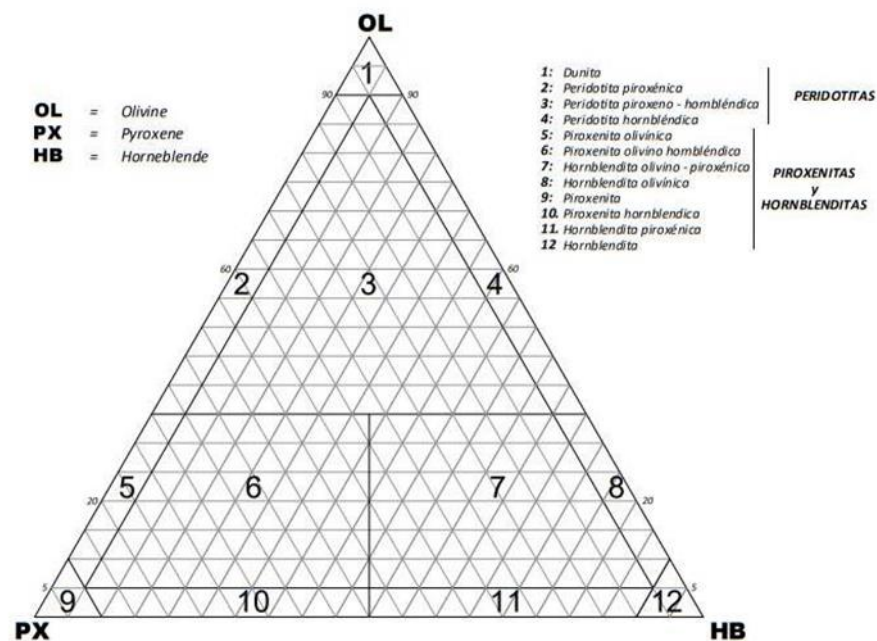
Si,  $M > 90$  ir a la figura 6 o 7.

Cuando  $M > 90$  La clasificación se basa en el contenido modal de minerales ferromagnesianos (Ol, Px, Hb), (Ver figura 6) y (Ol, OPx, CPx) (Ver figura 7) las que se denominan comúnmente como las rocas ultramáficas.

### Figura 6

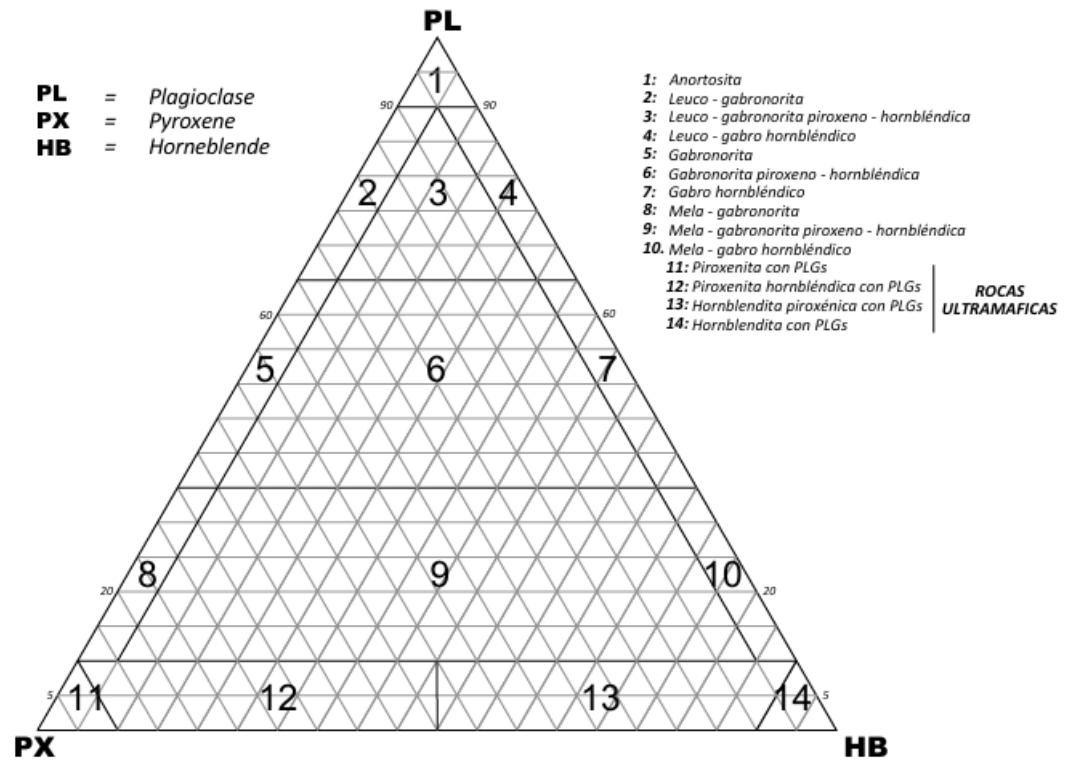
*Diagrama Ol-Px-Hb para rocas ultramáficas (Cuando  $M > 90$ ) Según*

*Streckeisen, Fuente: Dibujo propio, referenciado de (Castro Dorado, 1989)*



**Figura 7**

*Diagrama Pl-Px-Hb para rocas ultramáficas (Cuando  $M > 90$ ) Según Streckeisen, Fuente: Dibujo propio, referenciado de Castro Dorado (1989).*



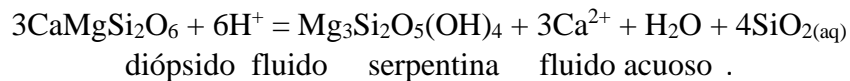
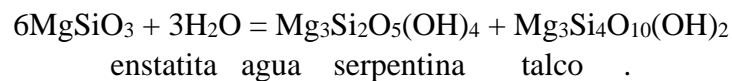
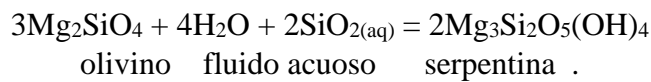
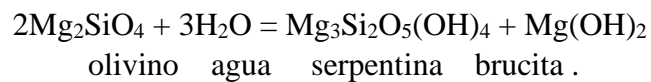
### 2.2.3 Rocas Serpentinizadas

#### 2.2.3.1 Petrogénesis

Las serpentinitas se forman por distintos mecanismos de hidratación, a modo general en dos ambientes geodinámicos, dorsales meso-oceánicas asociadas a fallas extensivas y fracturas “fuera de eje” (off-axis fractures) normalmente son zonas donde ocurre gran alteración hidrotermal, actividad magmática y fracturamiento de la corteza lo que genera buenas condiciones para la hidratación. También son favorables los procesos de subducción debido a que hay aporte de fluidos tanto de las placas como de secuencias sedimentarias Miyashiro, A. (1969).



Producto de la interacción del agua con rocas máficas y ultramáficas se da el proceso de serpentinización, cuyos protolitos por ejemplo son piroxenitas y peridotitas. A partir de la hidratación a cada uno de sus constituyentes como olivinos y piroxenos para dar como resultado los minerales del grupo de la serpentina, tal como podemos observar en las siguientes reacciones químicas, Salazar, E. (2015).



### 2.2.3.2 Mineralogía de las serpentinitas

La fórmula general de la serpentinita es  $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$  la cual corresponde a algunas estructuras cristalinas que representan diferentes formas de apilamiento entre las capas tetraédricas de  $\text{SiO}_4$  y las octaédricas de  $\text{MgO}_2(\text{OH})_2$ . Se denomina serpentina al grupo asociado por tres minerales (lizardita, crisotilo y antigorita) o como término general cuando la mineralogía no se puede reconocer o determinar individualmente. Wicks & Whittaker (1975)

Dentro de la estructura ondulosa que es característico en la antigorita la capa octaédrica es continua mientras que los tetraedros de sílice están inclinados con simetría de reflexión por desplazamiento por agrupaciones tetraédricas. Mientras que la lizardita presenta estructura planar debido a los





caciones octaédricos y tetraédricos fuera de sus posiciones ideales, además de la limitada sustitución Al-Si en los sitios tetraédricos. Por último, el crisotilo, tiene una estructura típica, que es cilíndrica, la cual es responsable de sus propiedades como asbesto O'Hanley (1991)

La determinación de estos minerales (lizardita, crisotilo y antigorita) se hace difícil por cuanto no son distinguibles vía microscopía óptica cuando se presentan en tamaño microcristalino o al no presentar texturas y asociaciones ya conocidas para cada fase; el único mineral distinguishable fácilmente es el crisotilo debido a su hábito característico en fibras alargadas Urríola, M. (2020).

### **2.2.3.3 Geoquímica general de las serpentinitas**

A pesar de la complejidad geoquímica del protolito, tanto los elementos mayores como traza pueden usarse como herramientas para identificar ambientes tectónicos de serpentización Hattori & Guilot (2007) La presencia de tierras raras (REE) en serpentinitas resulta básicamente de las interacciones fluido-roca, contenido inicial de elementos del fluido de alteración y la afinidad de estos elementos con minerales secundarios Deschamps et al., (2013)

El proceso de serpentización es isoquímica con respecto a los elementos mayores con excepción de una pérdida general de CaO y MgO que puede ser movilizado debido a la baja temperatura (<150 °C) de la corteza oceánica Snow & Dick, (1995). Asimismo, la interacción fluido-roca de alta temperatura asociada a sistemas hidrotermales puede provocar movilidad de



Si, Fe, Cr y Ni Barnes et al., (2013) , y algunas tierras raras livianas (LREE) como el Eu y el Ce Deschamps et al., (2013)

## 2.3 MINERAGRAFÍA

### 2.3.1 Conceptos básicos

#### 2.3.1.1 Definición

Es una herramienta o método que sirve para el estudio de minerales opacos utilizando el microscopio polarizante de reflexión o luz reflejada, conocida también como luz incidente, con ello se logran identificar los minerales generalmente metálicos (opacos) además permite analizar sus propiedades ópticas, tales como color, reflectancia, reflexiones internas entre otros. GEOXNET (s.f.)

### 2.3.2 Mineralogía común en rocas ultramáficas

#### 2.3.2.1 Óxidos

Uribe (2012) precisa la importancia de tener en cuenta que la cromita corresponde a los óxidos del grupo mineralógico de la espinela, cuya fórmula general es  $A^{2+}B^{3+}_2O_4$ , donde A y B son conformados por los siguientes cationes divalentes y trivalentes:

A:  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Ti^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ .

B:  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $V^{3+}$ .

Dando origen entre otros minerales cúbicos:

- Espinela  $MgAl_2O_4$
- Cromita  $Fe^{2+}Cr_2O_4$



- Magnetita  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$
- Magnesioferrita  $\text{MgFe}^{3+}_2\text{O}_4$
- Jacobsita  $(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4$
- Galaxita  $(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$
- Franklinita  $(\text{Zn}, \text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+})(\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4$
- Cocromita  $(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Fe}^{2+})(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$

### 2.3.2.2 Cromita

Considerada el único mineral de mena reconocida para la producción industrial del cromo. Según estudios tradicionales se establece una fórmula química general  $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$ ; sin embargo (Ramdohr, 1969) realizó investigaciones a mayor detalle sobre la naturaleza del mineral estableciendo la siguiente fórmula  $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$ , además podría existir en ella, una amplia sustitución en los diferentes cationes involucrados e incluyendo a la vez cantidades menores de Ti, Zn Mn, entre otros.

Algunas de las propiedades ópticas de la cromita, descritas por, Uytendogaardt, W. (1971) y Schouten, C. (1962)

- **Color:** gris con ligero tinte parduzco.
- **Reflectancia:** baja (aprox. 12 %), siendo aún más baja que la magnetita (20 %) y la esfalerita (18 %).
- **Dureza:** alta (mayor que la magnetita, pero menor que la hematita).
- **Anisotropía:** siempre es isótropa, sin embargo, se han reportado que ciertas variedades ricas en Zn podrían mostrar una débil anisotropía. De igual forma presenta una débil anisotropía anómala, mostrada tanto en cristales zonados, como en aquellos que han sufrido una cierta deformación en su estructura interna.
- **Reflexiones Internas:** de color marrón a marrón rojizo en individuos ricos en Mg y Al, pero ausente en las cromitas ricas en Fe. Puede ser



fácilmente observado mediante el uso de objetivos de inmersión en aceite; aunque por lo general solo es necesario una fuerte iluminación incidente.

### 2.3.2.3 Sulfuros

Es muy escasa la presencia de sulfuros en el afloramiento y casi siempre muy dispersa, estas se presentan en forma de Intercrecimientos mayormente de tipo corona e intersticial y en venillas muy finas en algunas ocasiones. Uribe, R. (2012), los cuales son:

- Pirita  $\text{FeS}_2$
- Pentlandita  $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$
- Skutterudita  $(\text{Co},\text{Ni},\text{Fe})\text{As}_3$
- Calcopirita  $\text{CuFeS}_2$
- Pirrotita  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$

La **Pentlandita** se caracteriza por su color crema claro, a blanquecino, se recomienda observar con lentes objetivos de 50X, el cual concentra una mayor cantidad de luz en el campo observado. Castroviejo R. (2006) indica la presencia de linneita de fórmula  $(\text{Co},\text{Ni},\text{Fe},\text{Cu})_3\text{S}_4$ , de color blanco con ligero tinte rosáceo.

La **calcopirita**, se puede apreciar asociado a la pentlandita, pero esta es casi imperceptible en la figura por la alta concentración de la luz. Incluso se puede observar cristales de pirita, (figura 88 y 89) de color blanco. Uribe, R. (2012),

Aparentemente podría corresponder a una **pirrotita**, producto de la alteración de la pentlandita cuyo núcleo fue delimitado por presentar otra fase mineralógica. Uribe, R. (2012),

La **stichtita** es un carbonato hidratado de cromo y magnesio cuya fórmula química es  $(Mg_6Cr_2[(OH)_{16}[CO_3].4H_2O)$ , se da por el proceso de alteración hidrotermal de la cromita en presencia del  $CO_2$ . (Uribe, 2012)

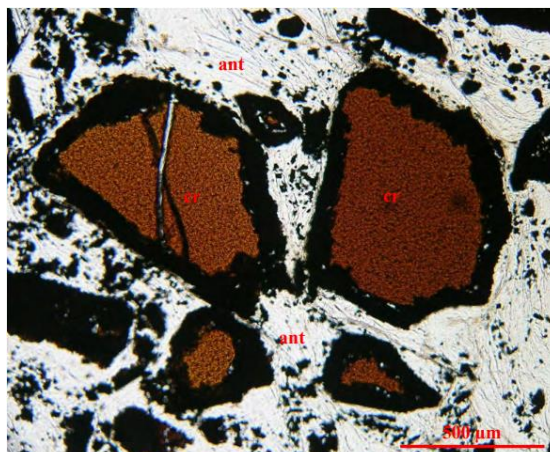
### 2.3.3 Mineralogía relacionada a serpentinitas

En los afloramientos ultramáficos de Tapo, la cromita, se caracteriza principalmente por su fracturamiento un tanto cerrado, sin orientación definida. Por lo general presentan alteración débil hasta un total reemplazamiento a **magnetita** ( $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ ) e incluso a **ilmenita** ( $FeTiO_3$ ) y cuando se da este proceso, es posible reconocer o identificarlo desde los bordes del cristal, como también por los bordes de las fracturas. Uribe, R. (2012),

Según, Uribe, R. (2012), El segundo tipo de ocurrencia son las cataclastitas de cromita o cromititas, de textura cataclástica, en los cuales, los cristales xenomórficos de cromita se presentan, muy craquelados diseminados en una matriz compuesta principalmente por serpentinas de la variedad antigorita (ver figura 8 y 9). Los cristales de cromita presentan desde una alteración incipiente hasta magnetita en los halos del mineral, en forma de coronas de minerales opacos (ver figura 8).

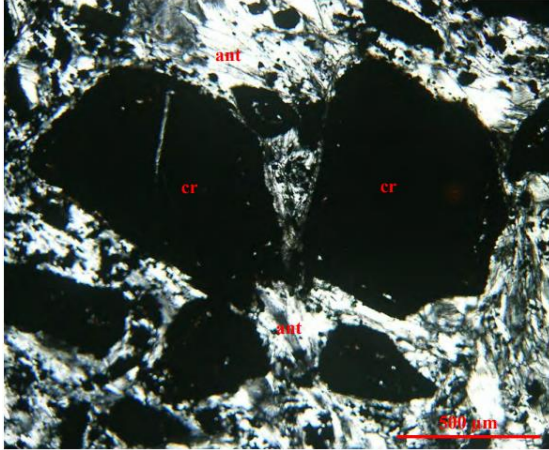
#### Figura 8

(N/s) *Clastos angulosos de cromita (cr) diseminada de color marrón, mostrando bordes alterados a minerales opacos. Fuente: Uribe, R. (2012),*



### Figura 9

*(NXs) La misma vista mostrando el comportamiento isotrópico de la cromita (cr) y el hábito hojoso de la antigorita (ant). Fuente: Uribe, R. (2012),*



## CAPÍTULO III

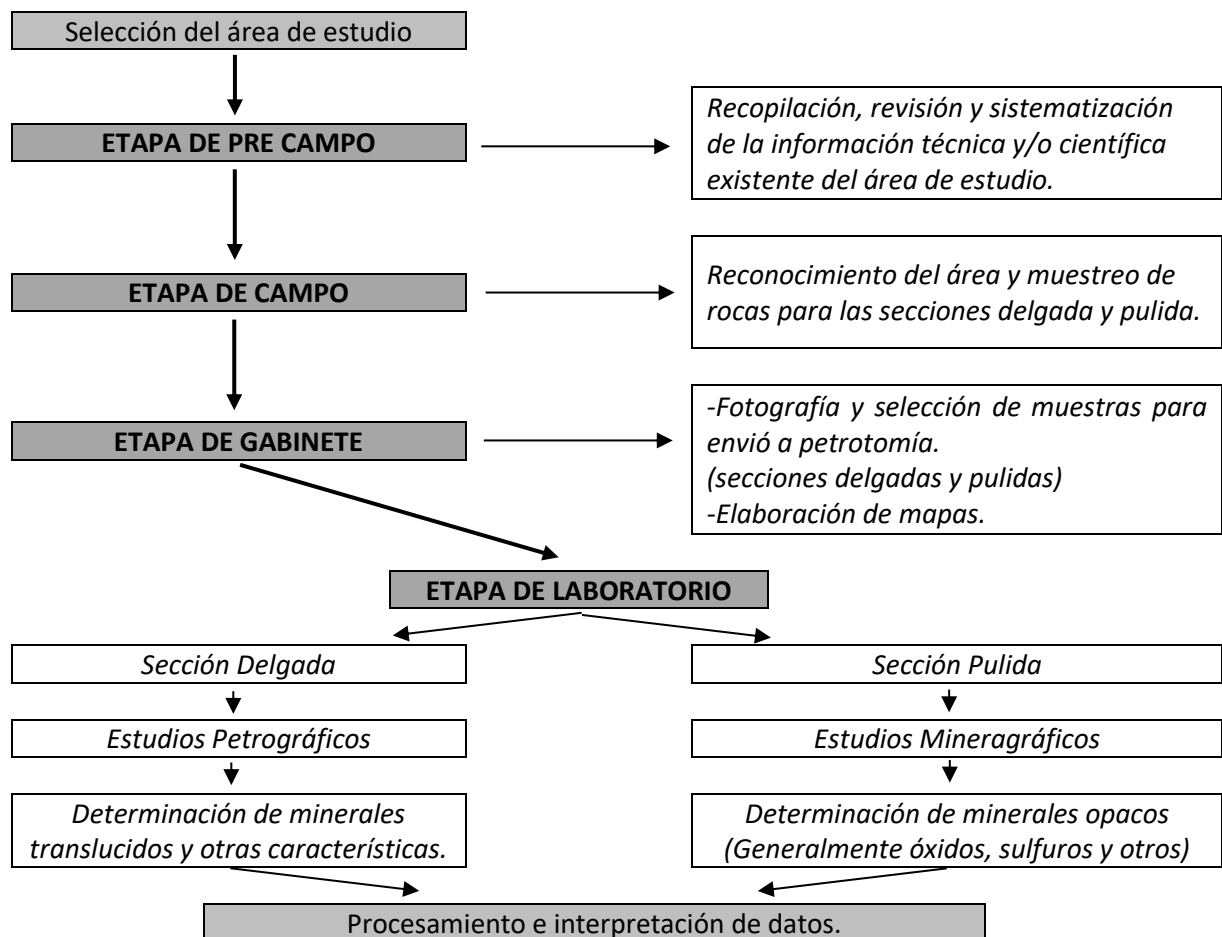
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se desarrolló en cuatro etapas definidas como: Precampo, campo, gabinete y laboratorio, así como se evidencia en el siguiente esquema. (ver figura 10).

**Figura 10.**

*Esquema de la metodología de investigación, Fuente: Tica, S. (2020) INGEMMET-DGR-GR39B.*



##### 3.1.1 Etapa de pre campo

El trabajo de investigación inicia con la recopilación, revisión y sistematización de información bibliográfica, que fueron realizados en el área de



estudio e investigaciones relacionadas al tema, tales como tesis de grado, maestrías, informes, revistas científicas, boletines de la SGP, mapas y boletines del INGEMMET (23I-II), investigaciones de la SEM, imágenes satelitales, entre otros; de todo el material obtenido se consiguió una síntesis precisa de la información, se elaboró los mapas preliminares (topográfico del área, geológicos regional y local ) finalmente para esta etapa, el plan de trabajo de campo.

### 3.1.2 Etapa de campo

El trabajo de investigación tubo dos campañas de campo, la primera fue en mayo del 2019 (ver figura 11 y 12) y la segunda en agosto del 2023 (ver figura 23) donde se realizó los siguientes trabajos, reconocimiento geológico y ubicación de puntos estratégicos de muestreo según mapas elaborados en la primera etapa de pre campo, toma de muestras de roca para la descripción macroscópicas, estudios petrográficos y minerográficos y preselección de muestras para envío a laboratorio.

#### **Figura 11**

*Primera salida a campo, mayo de 2019, Labores abandonadas de Mina San Felipe, donde se realizó la extracción de cromita*







## **A. Reconocimiento geológico y ubicación de puntos estratégicos**

Por la geografía del área, se aprovechó los accesos de carretera, caminos de herradura y zonas accesibles para realizar un trabajo seguro, en tal sentido se hizo los siguientes trabajos:

- **Reconocimiento**

Recorrido de gran parte del área de estudio, verificando los contactos, estructuras, variaciones geológicas, además evaluando los afloramientos mejor expuestos para el muestreo adecuado, la vegetación de la zona es bastante densa por ichu, arbustos característicos del lugar, suelo cuaternario y otros, lo cual dificulta el muestreo óptimo (ver figura 12 y 23).

- **Ubicación**

Se determino los puntos de muestreo, principalmente según cambio litológico, estructuras mineralizadas casi nulo ya que en los afloramientos de la zona Acobamba son muy escasas o nulas, de igual forma fallas significativas dentro de los cuerpos máficos y ultramáficos no se presenta, entonces la ubicación de los puntos es dentro de los 4 afloramientos en concreto y muestra de roca caja puntualmente. (ver Mapa 5)

## Figura 12

*Primera salida a campo, mayo 2019. Sobre afloramientos de peridotitas serpentinizadas, área de estudio zona Acobamba, fotografía con vista hacia el NE.*



### B. Toma de muestras de roca

Ubicados los puntos de muestreo y con todos los materiales y herramientas necesarios para un trabajo óptimo, se prosiguió de la siguiente manera:

- **Extracción de muestra (muestreo)**

Es la actividad más trascendental de toda investigación geológica, depende del muestreo la calidad de los resultados. Las muestras fueron extraídas con ayuda del martillo geológico, comba de 4lbs y cincel, debido a la gran dureza y poco afloramiento en el área. Se desterró zonas donde ameritaba para la obtención correcta de la muestra en tamaño y roca fresca (ver figura 13).

- **Cantidad y tamaño de muestra**



La cantidad es una muestra de mano (roca), de tamaño igual o mayor a 10cm x 10cm x 10cm, que cumpla con las características adecuadas para la elaboración de las secciones delgada y pulida.

- **Codificación y empaque**

Codificación correspondiente en la bolsa de muestreo, luego se introduce la muestra extraída dentro de ella, y asegurar con cintillo de polietileno (ver figura 13). Es necesario revisar bien el código y verificar que la bolsa este en buenas condiciones; preferible que la muestra no presente crestas silisificadas que puedan dañar o romper las bolsas.

- **Toma de coordenadas de la muestra**

Con ayuda del GPS, se tomaron las coordenadas de cada muestra, en el sistema UTM, (WGS-84), para la ubicación espacial en el mapa y realizar el análisis correspondiente, de igual manera se tomaron datos de ciertas estructuras, o cambios de litología resaltante.

- **Toma de fotografías**

Las fotografías se realizaron con escala referencial, uno a detalle y otra panorámica, como evidencia de aspectos importantes, como afloramientos rocosos, contactos geológicos, estructuras geológicas, alteraciones, geomorfología, accesibilidad, entre otros.

- **Descripción de muestra**

La descripción fue breve de las principales características de la muestra, como: tipo de roca, color, textura, principales minerales, alteraciones y datos resaltantes de sus alrededores

### **Figura 13**

*Afloramiento de rocas máficas serpentinizadas, silisificadas.*



#### **3.1.3 Etapa de Gabinete**

Etapa donde se realiza todo el procesamiento de la información obtenida en campo, contrastando y analizando con la información bibliográfica y comprende de los siguientes procedimientos.

- **Descripción macroscópica de muestras de mano a detalle.**

Con la ayuda del Estereomicroscopio Leica EZ4 y lupa x20, se da procedimiento a la descripción macroscópica, iniciando a identificar por, el tipo de roca, en este caso la mayoría son de tipo metamórfico, seguidamente se le asigna un color o coloración según se evidencie, después se le asigna la textura correspondiente, puede que sea una simple, por ejemplo, granoblástica, lepidoblástica, nematoblástica o porfidoblástica, estas cuatro texturas pueden



aparecer en las rocas metamórficas de manera exclusiva. sin embargo, lo normal es que las rocas metamórficas presenten una combinación de dos o más de ellas, la textura dominante va primero a continuación el resto, por ejemplo podría ser, granolepidoblastica, granonematoblástica, granoporfidoblástica y muchas otras combinaciones, luego describimos la estructura que presentan, normalmente las rocas metamórficas dependen de un factor importante que es la deformación, y del tipo de estructuras de las rocas originales, ígneas o sedimentarias, en caso hayan sufrido deformación contemporánea con el metamorfismo todos o parte de los minerales presentan orientaciones preferentes por lo tanto la estructura más común es la bandeada que, además, presentará orientación preferente de los minerales paralelamente al bandeado, luego se inicia con la descripción mineralógica, la mayoría de las muestras se encuentran serpentinizadas y con minerales máficos y/o ultramáficos que muestra a muestra se va detallando, para finalizar la descripción se añade las características resaltantes, como: alto, medio o bajo magnetismo y otros.

- Selección de las muestras y definición de línea de corte en la roca, para la elaboración de las secciones delgadas y pulidas (ver figura 14)

#### Figura 14

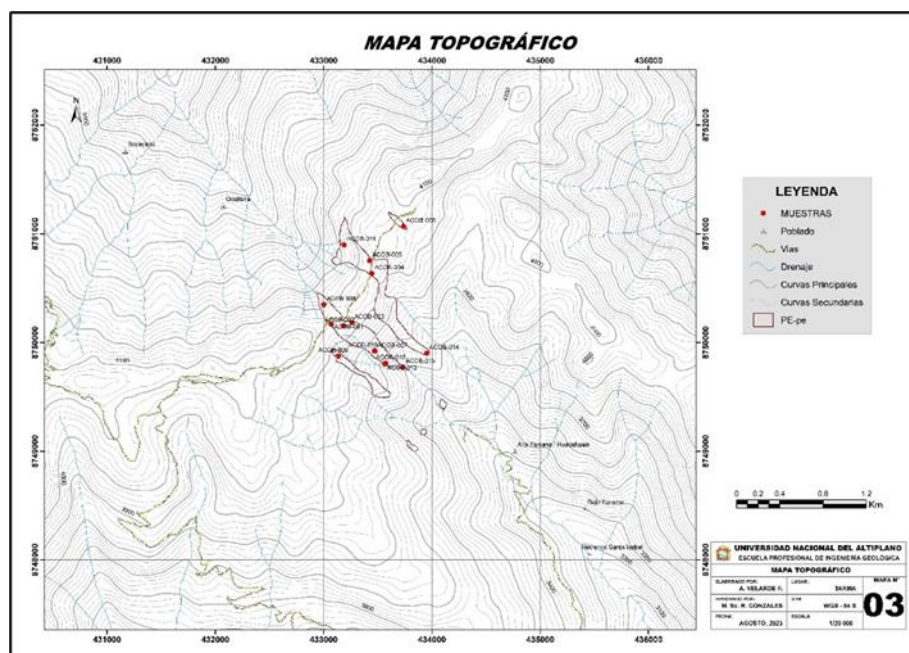
*Muestras de mano, para la descripción macroscópica.*



- Base de datos de campo, como: coordenadas, dirección de estructuras, buzamientos, descripciones y otros.
- Elaboración de mapas, de ubicación (ver Mapa 01) , de accesibilidad (ver Mapa 02), topográfico (ver figura 15) geológico (ver Mapa 04), de afloramientos (ver Mapa 05) y sección geológica (ver Mapa 06).

**Figura 15**

*Mapa topográfico y ubicación de las muestras obtenidas en campo.*



- Recepción de las secciones delgadas y pulidas que fueron elaboradas en un laboratorio especializado en preparación de las mismas, para el análisis correspondiente en la siguiente etapa de laboratorio microscópico.

### 3.1.4 Etapa de Laboratorio

- Elaboración de secciones delgadas y pulidas

Para la elaboración de las respectivas secciones delgadas y pulidas se enviaron a un laboratorio especializado en estos trabajos, no se tuvo participación



alguna en dicha elaboración por parte nuestra, solamente indicar las líneas de corte de las muestras, para evidenciar de la mejor manera la información petrográfica y minerográfica, generalmente los cortes indicados se realizaron transversalmente a las principales estructuras en las muestras de mano e indicaciones de las áreas más interesantes.

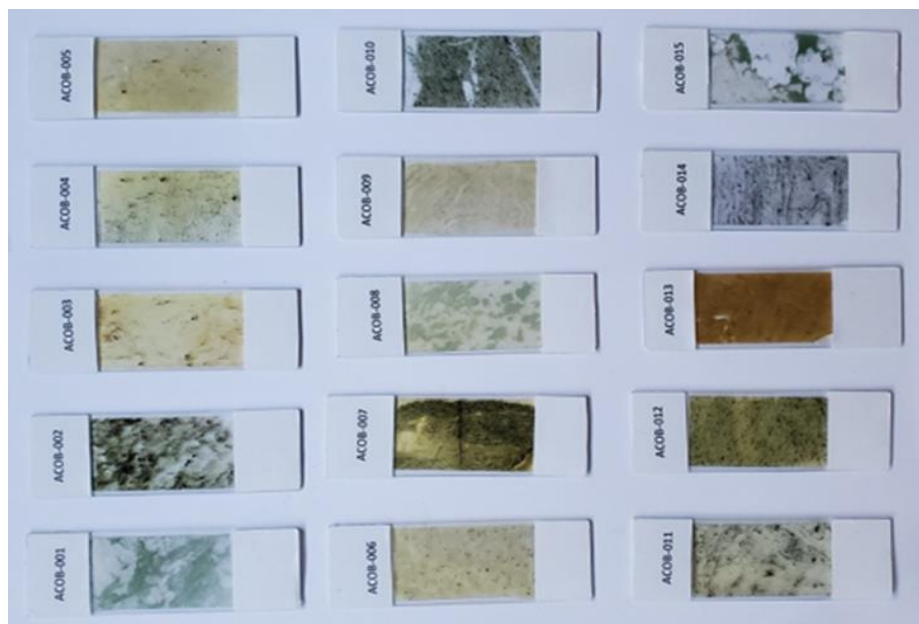
### 3.1.4.1 Caracterización petrográfica

Se realizaron trabajos de descripción petrográfica de las siguientes secciones delgadas (ver figura 16), en total son 15 unidades, desde el código ACOB-001 al ACOB-015, utilizando microscopio de polarización, Leica DM2700P, del laboratorio de Yacimientos Minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Con este estudio se determinó los diferentes minerales translucidos presentes en el macizo ultramáfico del sector Acobamba. Se identificaron principalmente minerales máficos y ultramáficos formadores de roca como son plagioclasas, cuarzo, biotita, anfíbol, piroxeno, con mayor frecuencia se observa variedades de serpentinas, como, antigorita granular fina, crisotilo de hábito fibroso y muy probablemente lizardita de hábito tabular, también están presente las cloritas, epidotas y algunos minerales traza como granates y ¿olivinos?, estos dos últimos en ciertas muestras puntuales, los olivinos por lo general están totalmente reemplazados por serpentinas de la variedad lizardita, por ello la alteración es tan intensa que prácticamente no ha dejado rastros de las rocas ultramáficas iniciales. La mayoría de las secciones delgadas presentan muestras metamorfizadas y/o deformadas, con presencia de micropliegues, microfracturas y microfallas. Además, se identificaron ciertas texturas, como granoblástica, lepidoblástica,

nematoblástica o porfidoblástica, y no siempre se presentan con una sola textura sino texturas compuestas como granoporfidoblástica, granoporfidoblástica, textura en mallas o enrejada, lenticular o budding, no pseudomorfica (ribbon), entre otros que son típicos de rocas máficas y ultramáficas metamorfizadas. Finalmente se tienen finísimas disseminaciones de minerales opacos de formas granulares y en venillas tales como pirita, calcopirita, cromita, espinelas y otros, además de escasas ocurrencias de calcita y magnesita.

### Figura 16

*Secciones delgadas de 30 micras de espesor, para la descripción petrográfica.*



#### 3.1.4.2 Caracterización minerográfica

Se realizaron trabajos similares al anterior, de descripción minerográfica de secciones pulidas (ver figura 17), en total son 15 unidades, cuyas muestras están codificadas desde ACOB-001 al ACOB-015, se utilizó microscopio de polarización, Leica DM2700P. Este estudio nos permitió



determinar la presencia de minerales opacos que se dan en los 4 afloramientos del macizo ultramáfico del sector Acobamba. Los principales minerales identificados son; magnetita, ilmenita, cromita, ferritcromita, pirita, calcopirita, pirrotita, bornita, ocasionalmente pentlandita, entre otros. Las cromitas por lo general se presentan en proceso de alteraciones a magnetitas secundarias, en ese transito hay una especie mineral que no es necesariamente cromita, tampoco magnetita, esto sería la ferritcromita, se identifica a las cromitas de color gris parduzco, limitado por contornos irregulares y nítidos de una zona de gris verdosa, algo más reflectante e isótropa, la cual son propiedades de la ferritcromita. Las magnetitas se presentan en cristales euhedrales con alteraciones y dentro de ellos el más importante son las ilmenitas se aprecian de color gris parduzco, estas tienen una fuerte anisotropía de color gris parduzco, además, la fuerte anisotropía de la ilmenita contrastando con la isotropía de la magnetita. La presencia de sulfuros es bastante escasa y casi siempre muy dispersa, encontrándose asociada a las magnetitas en forma diseminada y ocasionalmente en venillas.

### **Figura 17**

*Secciones pulidas, para la descripción mineralográfica.*





### **3.1.4.3 Determinación de principales minerales de interés económico.**

Los resultados se obtienen principalmente del estudio mineragráfico y se complementa con estudios de Difracción de Rayos X y Fluorescencia de Rayos X, para corroborar lo identificado por sus propiedades ópticas. Se identifica minerales como la cromita, magnetita, ilmenita, piritita, calcopirita y otros de interés económico.

#### **A. Análisis de Difracción de Rayos X**

Se realizó análisis de difracción de rayos X, de 1 muestra, como ensayo complementario, para ello se realizó la trituración de la muestra de roca a malla 400, en morteros de ágata luego prensar y esta ser analizada por un Difractómetro de Rayos X, Bruker D2 Phaser (ver figura 20)

#### **B. Análisis de Fluorescencia De Rayos X.**

Se realizó el análisis de 1 muestra cuyo código es ACOB-007, la cual fue pulverizada a malla 200 para la elaboración de la pastilla con 2.5 cm de diámetro utilizando el tensiómetro, en seguida esta muestra fue puesta en el porta muestras y analizado por un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X, Bruker S2 PUMA (ver figura 21).

## **3.2 INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES**

### **3.2.1 Instrumentos, equipos y materiales utilizados en campo**

- GPS
- Brújula
- Picota de geólogo



- Lupa 10x, 20x
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo
- Tablero de mapeo
- Protactor
- Mapa de ubicación
- Mapa topográfico
- Mapa geológico
- Imágenes satelitales

### **3.2.2 Equipos y materiales utilizados en gabinete**

- Laptop
- Tablet
- Impresora
- Libros
- Útiles de escritorio en general

### **3.2.3 Equipos y materiales utilizados en laboratorio**

- Microscopio de polarización Leica DM2700P (ver figura 18)
- Estereomicroscopio Leica EZ4 (ver figura 19)
- Difractómetro de Rayos X, Bruker D2 Phaser (ver figura 20)
- Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X, Bruker S2 PUMA (ver figura 21)

**Figura 18**

*Microscopio de polarización Leica DM2700P*



**Figura 19**

*Estereomicroscopio Leica EZA*



**Figura 20**

*Difractómetro de Rayos X, Bruker D2 Phaser y muestra prensada.*



**Figura 21**

*Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X, Bruker S2 PUMA*



### 3.2.4 Software

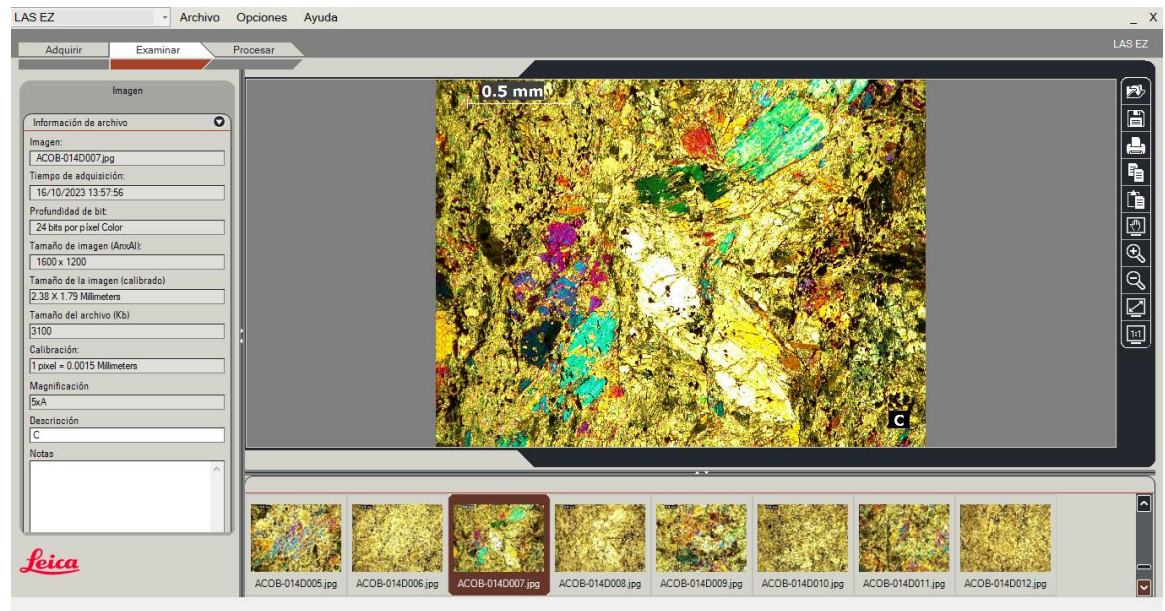
- ArcGIS, software donde se elaboraron gran parte de los mapas, como ubicación, accesibilidad, topográfico, geológico y mapa de afloramientos.



- AutoCAD, se utilizó en la elaboración de la sección geológica, y diagramas de clasificación de rocas.
- LAS EZ, software con la cual se tomaron las microfotografías tanto de las secciones delgadas y pulidas, (ver figura 22)
- Paquete Office, Se hace uso en la base de datos y redacción de la tesis.

## Figura 22

### Software Las EZ.



### 3.2.5 Equipos de Protección Personal (EPPs)

- Chaleco de geólogo con cintas reflectivas
- Zapatos de seguridad
- Lentes de seguridad
- Guantes
- Sombrero
- Protector o casco de superficie (Cuando sea necesario)

### **Figura 23**

*Segunda salida a campo, agosto 2023, se observa el poblado de Yanama Alto, y el uso de los principales EPPs para campo. Fotografía con dirección al SE.*



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 UBICACIÓN

El macizo ultramáfico de Tapo, la zona norte o sector Acobamba, se ubica en la Cordillera Oriental en el centro del Perú, entre los poblados de Acobamba, Palca y Punray Huasahuasy, está en altitudes entre los 3800 m.s.n.m. y 4400 m.s.n.m. La zona de estudio se encuentra a 27.5 km aproximadamente de la ciudad de Tarma, que está ubicado en el distrito de Acobamba, provincia de Tarma, departamento de Junín (Ver Mapa 01).

**Tabla 4**

*Tabla de coordenadas de ubicación, del área de estudio*

VÉRTICES	UBICACIÓN		ÁREA Km <sup>2</sup>
	COORDENADAS UTM		
	ESTE	NORTE	
1	430000	8752000	24
2	436000	8752000	
3	436000	8748000	
4	430000	8748000	

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2 ACCESIBILIDAD

El acceso se realiza siguiendo la carretera central del Perú, que une las localidades de Lima - La Oroya - Tarma - La Merced, dista de 237 km (Lima - Tarma) de carretera se encuentra asfaltada y en buen estado, otras alternativas por carretera tenemos, Lima - Huancayo - Tarma; otra opción sería mediante vía férrea, tenemos la vía, Lima - La Oroya - Cerro de Pasco, donde se tiene que completar por carretera hacia Tarma desde La Oroya, también se puede acceder más rápido vía aérea, Lima - Jauja y continuar por carretera. De las alternativas anteriores las más recomendables son, por carretera, Lima – La Oroya – Tarma o sino vía aérea, Lima - Jauja y completar por carretera (Ver Mapa 02).





**Tabla 5**

*Tabla de accesibilidad.*

<b>ACCESIBILIDAD</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>CONDICIÓN</b>	<b>DISTANCIA</b>	<b>TIEMPO</b>
Lima – Tarma	Asfaltado	Buena	237 km	6 h, 50 min
Tarma – Acobamba	Asfaltado	Buena	11 km	0 h, 10 min
Acobamba – Zona	Trocha	Regular	16.5 km	0 h, 30 min
Caminata	Camino	Regular	2 km	0 h, 30 min
Total			266.5 km	8 h, 00 min

*Fuente: Elaboración propia, tomando datos de imágenes satelitales y Google Maps.*



Figura 24

Mapa de ubicación

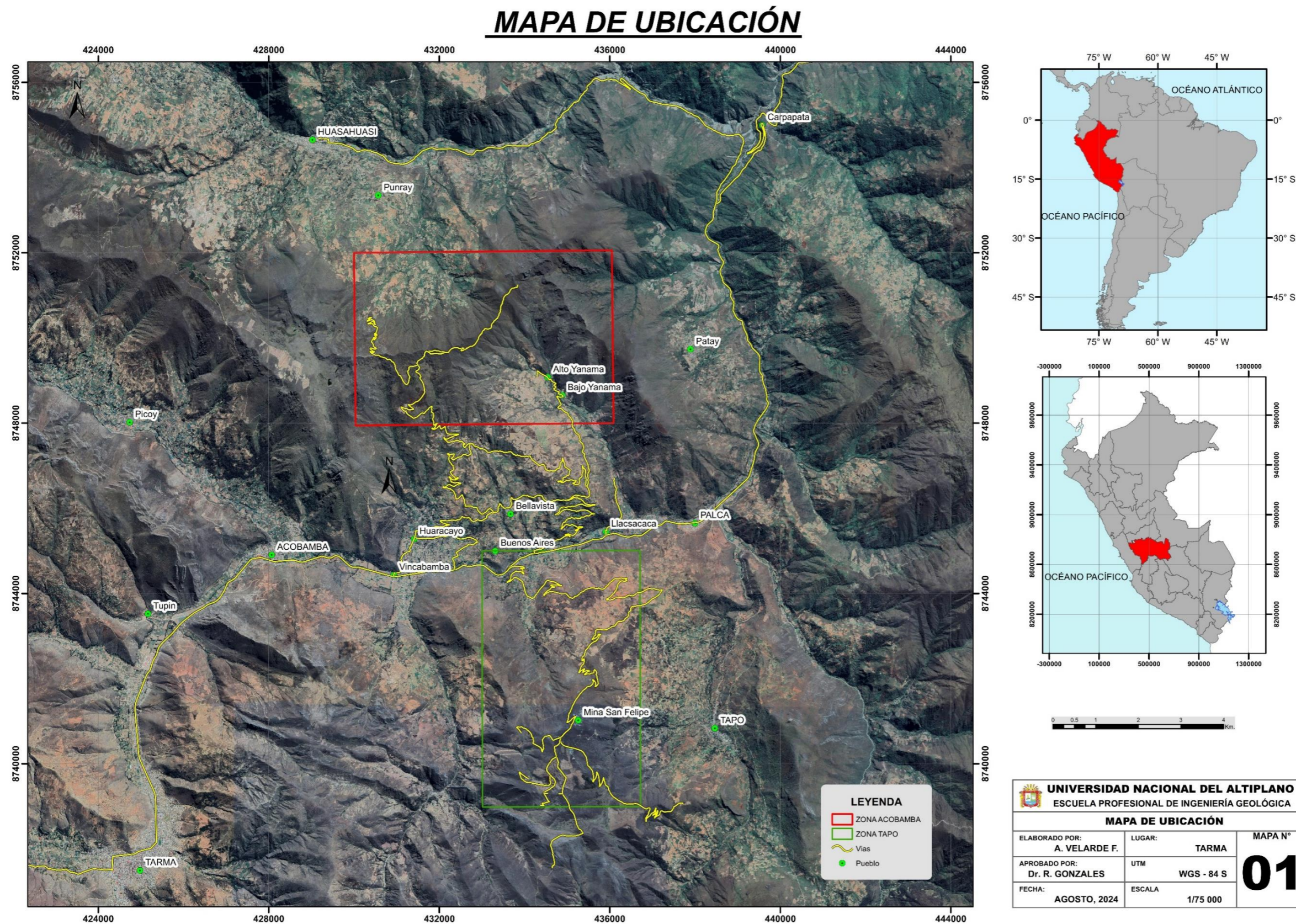
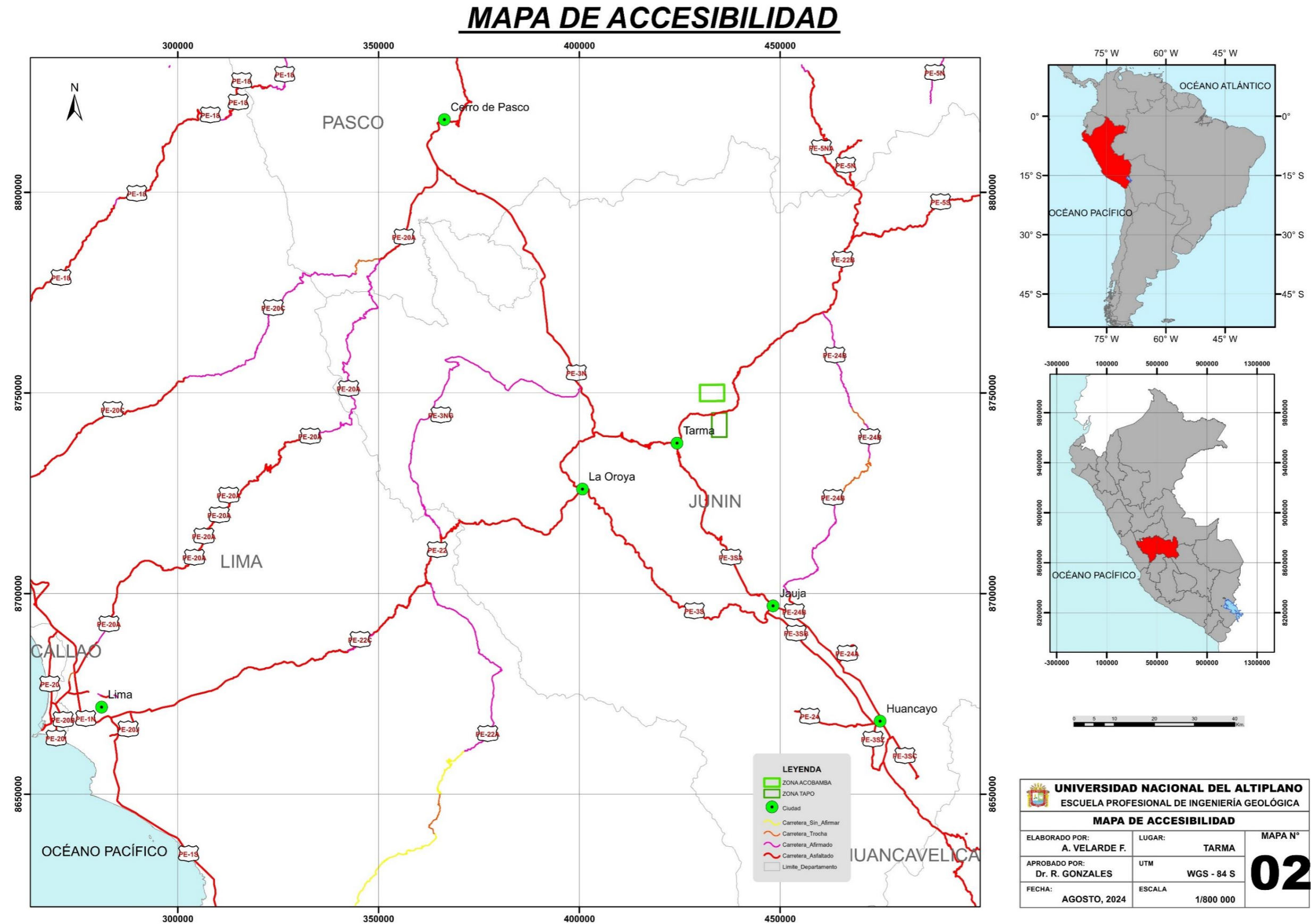




Figura 25  
Mapa de accesibilidad





### 4.3 GEOMORFOLOGÍA

El área de trabajo se encuentra en la Cordillera Oriental de los Andes Peruanos, predominan montañas, con pendientes pronunciadas y valles angostos en V, por donde recorren ríos generalmente con caudal durante el año.

Se tiene presencia de montañas las cuales son grandes elevaciones naturales, respecto al nivel de base local, que por lo general son los ríos; por la zona de estudio predominan dichas elevaciones cortadas por profundos valles en V (ver figura 24). También están las laderas que son de pendientes bastante pronunciadas, muchas de estas laderas están cubiertas por terrazas antrópicas, las cuales son aprovechadas para actividad agrícola. De igual manera los Valles en V que son formados por la erosión fluvial, lo que genero los profundos valles encañonados en forma de V, y precisamente los Afloramientos del macizo ultramáfico del sector Tapo y Acobamba están separados por un valle de este tipo.

El río principal de la zona se denomina Palca, que intercepta aguas abajo en la localidad de San Ramon con el río Ulcumayo, tomando el ultimo nombre; Río Palca esta alimentada por drenajes de corta distancia, que escurren por lo general en épocas de avenida, lo cual incrementa el caudal del Palca. Las terrazas agrícolas, son unidades geomorfológicas constituidas por pequeñas plataformas sedimentarias que fueron depositadas por los ríos, donde la pendiente es suave y generalmente son aprovechadas para el cultivo; por la zona tenemos estas unidades a lo largo de las quebradas (ver figura 26).

## Figura 26

*Vista hacia el NE, Valles en V, Fondo el poblado de Palca, panorama donde se observa las diferentes y principales unidades geomorfológicas presentes en la zona.*



### 4.4 GEOLOGÍA LOCAL

Afloramientos del Grupo Huaytapallana, están básicamente constituido por filitas, fuertemente magnetizadas, además se encuentran bastante foliada con intercalación de minerales máficos y félsicos de grano fino, difícil de identificar a la lupa.

El macizo se encuentra emplazado dentro de las filitas del Grupo Huaytapallana, (ver figura 25 y Mapa 04) y está constituido principalmente por rocas ultramáficas bastante serpentinizadas, generalmente gabros, ¿peridotitas?, con alto contenido de magnetitas, ¿olivinos?, cristales de sulfuros, piritita básicamente, en ocasiones se pudo ver ¿cromita? y muy esporádicamente ¿granates?, macroscópicamente se hace difícil de identificarlos debido a que son muy escasos.

Además, los afloramientos en contacto con el Grupo Ambo se caracterizan por ser serpentinas brechadas y bastante silisificadas, con cristales de magnetita fracturadas y en ocasiones ínfimas con clastos líticos de ¿cuarcita?

### Figura 27

*Vista panorámica del área de Acobamba - Comunidad Yanama Alto, en el cual se observa los 4 cuerpos peridotíticos serpentinizados (Cerro Huaylloccha), emplazados en una secuencia filítica con presencia de cuarzo paralelo a la foliación. Fuente: (Gonzales, 2010)*

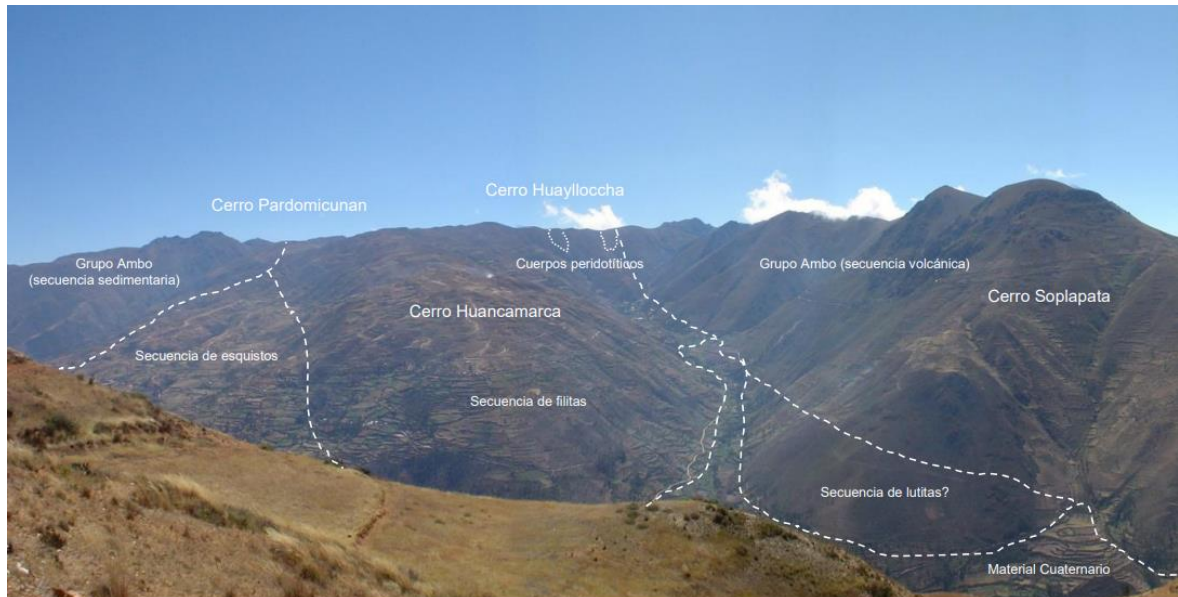
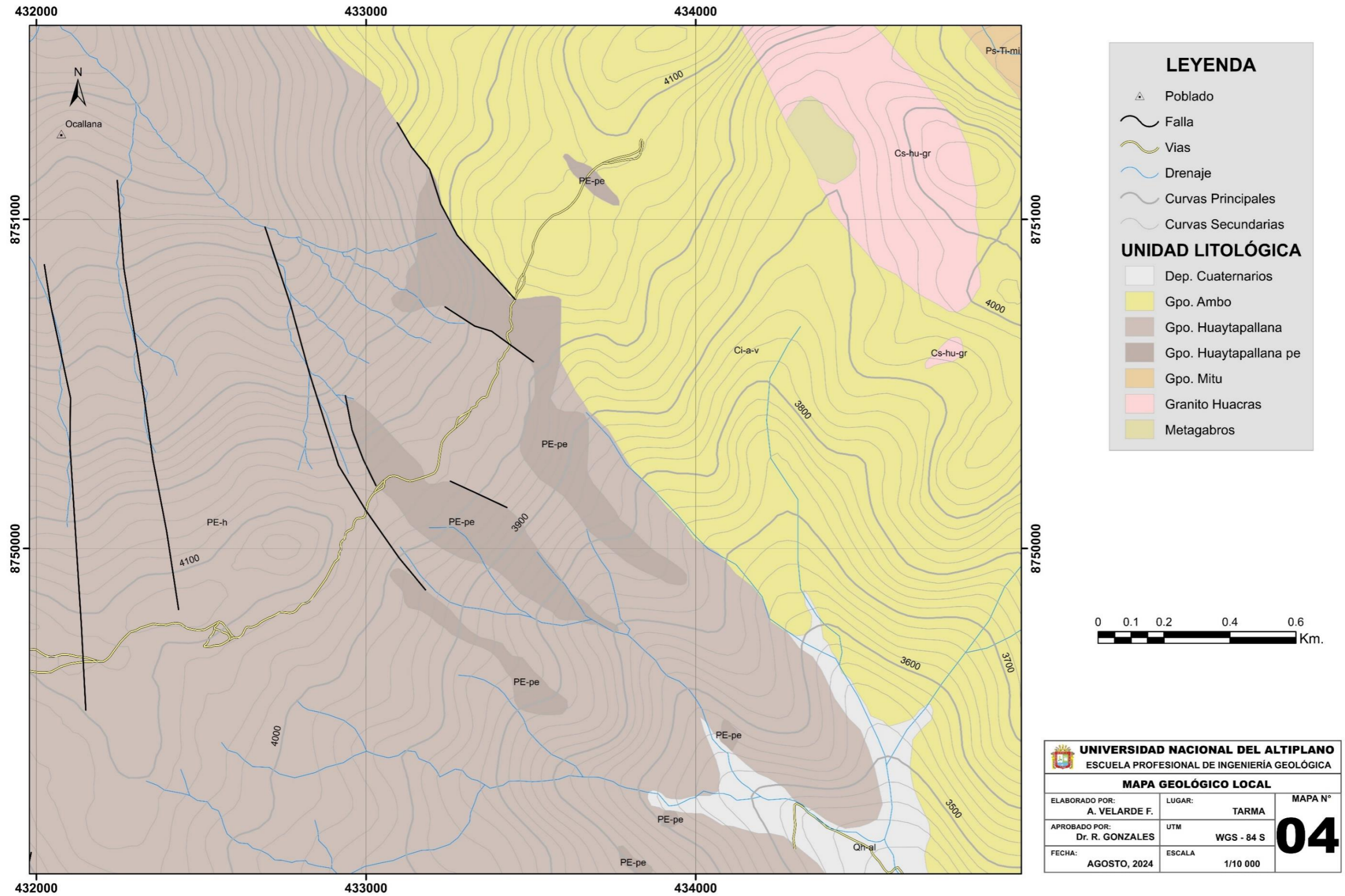




Figura 28

Mapa geológico local

### MAPA GEOLÓGICO LOCAL







#### 4.4.1 Afloramientos del macizo ultramáfico de Acobamba

Para la presente investigación se consideran los 4 afloramientos ultramáficos serpentinizados que están entre la localidad de Alto Yanama y Socayuca - Huasahuasi, que pertenecen a la zona de Acobamba, (Ver Mapa 05).

- **Afloramiento N° 1**

Es el cuerpo más recientemente identificado en el trabajo de investigación de (Gonzales, 2010), es un cuerpo difícil de obtener muestras evidentes, debido a que se encuentra casi en totalidad cubierto por material cuaternario, arbustos, suelos cultivables, etc. Por ello se logró obtener solo una muestra al norte de dicho cuerpo. Este afloramiento se ubica dentro del Grupo Huaytapallana (PE-hu), con dimensiones de 700 m. de largo por 80 m. en promedio de ancho, con un perímetro de 1497.5 m. y área de  $0.05 \text{ km}^2$  o  $50230 \text{ m}^2$  (4.2 ha), cuerpo alargado con dirección de rumbo andino NW-SE, (Ver Mapa 06).

- **Afloramiento N° 2**

Este cuerpo esta más al NE del primer afloramiento a una distancia de 200 metros, en ese espacio afloran filitas del Grupo Huaytapallana, luego tenemos el cuerpo ultramáfico. Se ubica dentro del Grupo Huaytapallana (PE-hu), con dimensiones de 1100 m. de largo por 200 m. en promedio de ancho, con un perímetro de 2328.4 m. y área de  $0.14 \text{ km}^2$  o  $155209 \text{ m}^2$  (13.5 ha), cuerpo alargado con dirección de rumbo andino NW-SE, (Ver Mapa 06).

- **Afloramiento N° 3**

Este cuerpo esta al NE del afloramiento 2, a una distancia de 300 metros en promedio. Este afloramiento 3 se ubica también dentro del Grupo Huaytapallana (PE-



hu), pero por el NE limita con el Grupo Ambo, el contacto se da por una falla, este afloramiento tiene dimensiones de 1500 m. de largo por 200 m. en promedio de ancho, con un perímetro de 3596.8 m. y área de 0.19 km<sup>2</sup> o 198652 m<sup>2</sup> (19.9 ha), cuerpo alargado con dirección de rumbo andino NW-SE, (Ver Mapa 06).

- **Afloramiento N° 4**

Este cuerpo esta más al NE del afloramiento 3, a una distancia aproximada de 400 metros. Este afloramiento esta ubica dentro del Grupo Ambo, con dimensiones de 240 m. de largo por 60 m. en promedio de ancho, con un perímetro de 486.3 m. y área de 0.008 km<sup>2</sup> o 8858 m<sup>2</sup> (0.9 ha), cuerpo alargado al igual que los anteriores con dirección de rumbo andino NW-SE, (Ver Mapa 06).



Figura 29

Mapa geológico de afloramientos ultramáficos

## MAPA GEOLÓGICO DE AFLORAMIENTOS ULTRAMÁFICOS

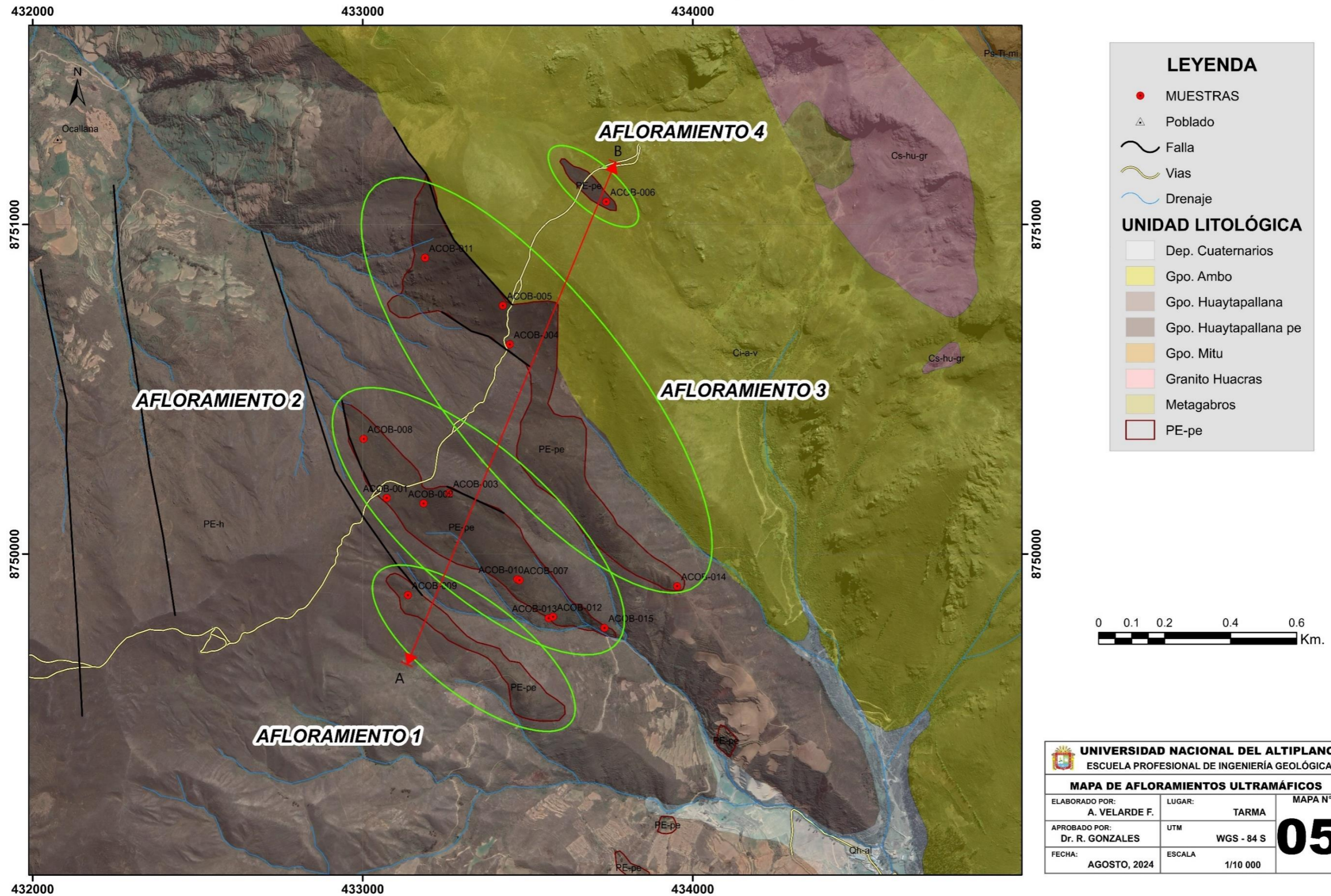
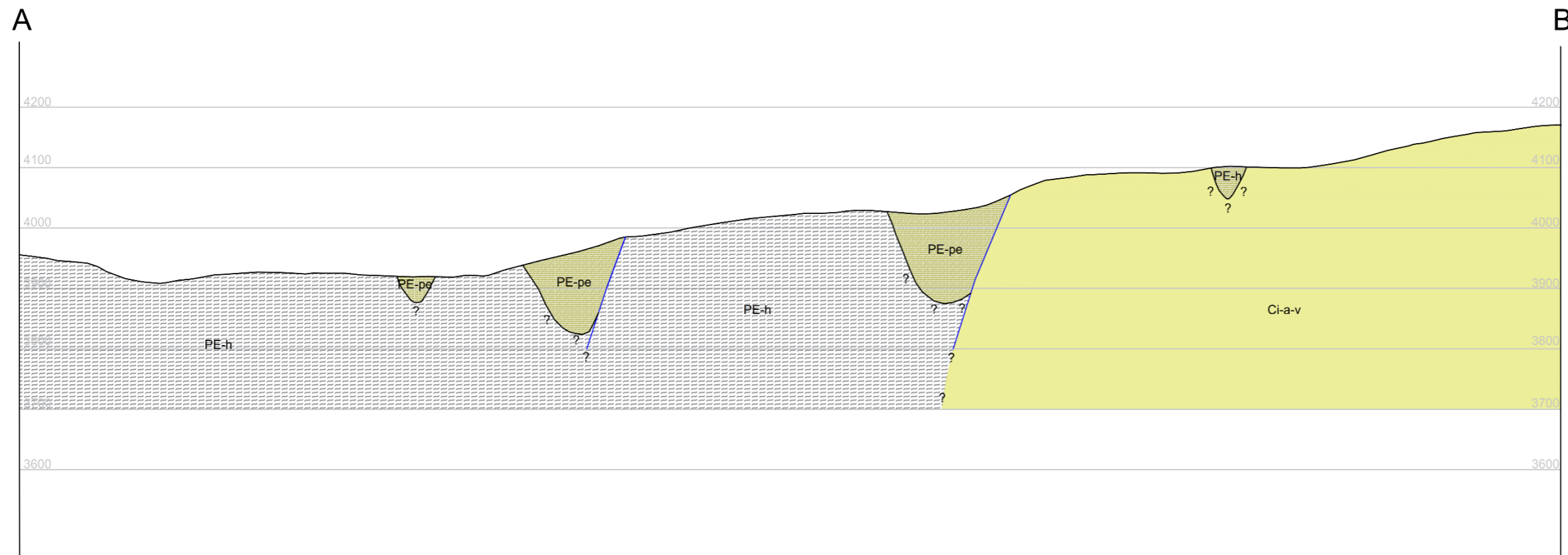








Figura 30

Sección geológica A-B

# SECCIÓN GEOLOGICA A - B



-  FALLA
-  Gpo. Ambo
-  Gpo. Huaytapallana
-  Gpo. Huaytapallana pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
SECCIÓN A - B		
ELABORADO POR: A. VELARDE F.	LUGAR: TARMA	MAPA N°
APROBADO POR: M. Sc. R. GONZALES	UTM WGS - 84 S	<b>06</b>
FECHA: AGOSTO, 2024	ESCALA 1/10 000	

#### 4.5 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

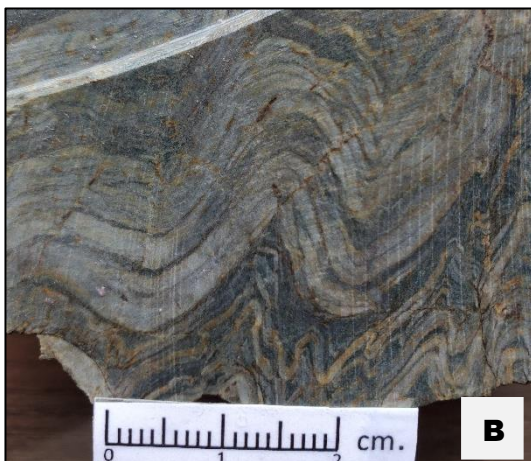
A continuación, se describe las muestras, respetando orden del afloramiento 1, 2, 3 y

4.

##### 4.5.1 Muestra: ACOB-009

#### Figura 31

*Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 009*



**FILITA CUARZOSA:** Roca metamórfica, de color gris verdoso, textura compuesta granolepidoblástica de grano fino, estructura bandeada o foliada y plegada, conformada por minerales félsicos intercalada con máficos. En la figura 26-B los minerales claros generalmente conformado por cuarzo en microcristales (grano fino) difíciles de identificar a la lupa y los oscuros por minerales como cloritas, epidotas, biotitas, anfíboles y piroxenos, típicos minerales máficos, adicional a ello presenta fuerte magnetismo. En la figura 26-C, se puede ver una venilla de 1mm de ancho aproximadamente, cortando la foliación de la roca, rellena por cuarzo, óxidos de hierro, como la magnetita, hematita, limonita entre los cristales de cuarzo.

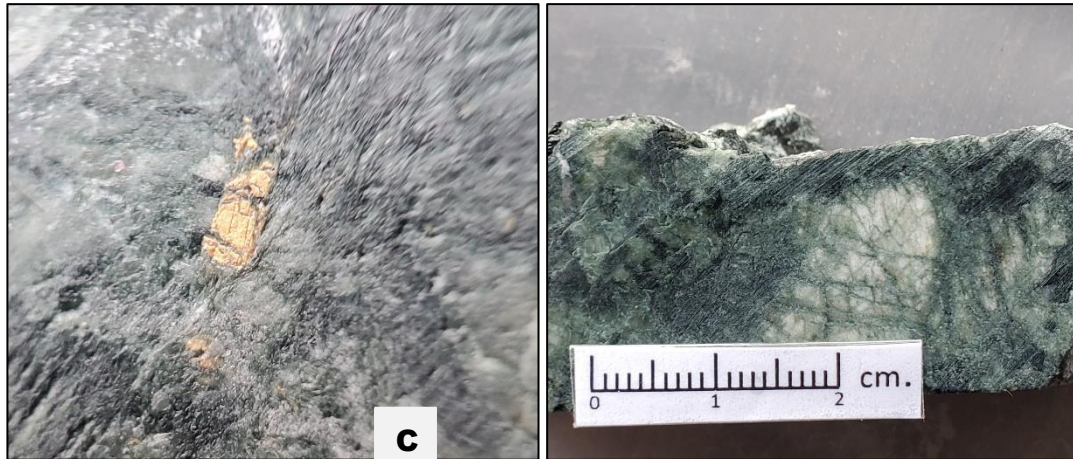
#### 4.5.2 Muestra: ACOB-001

#### Figura 32

*Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 001*







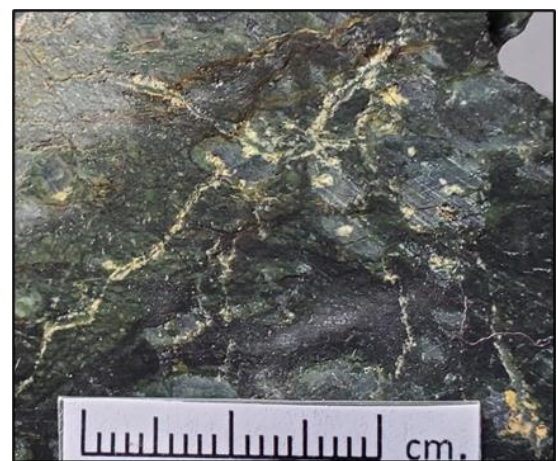
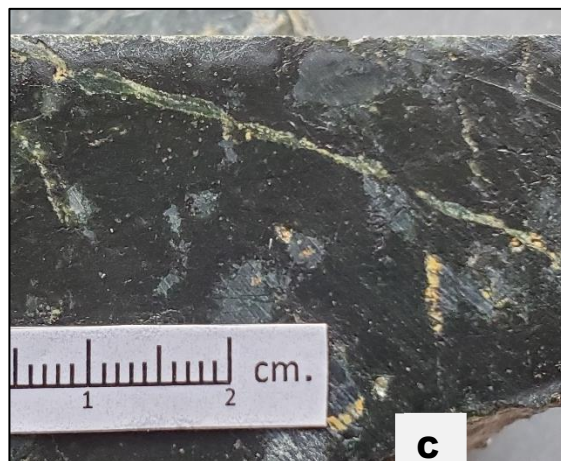
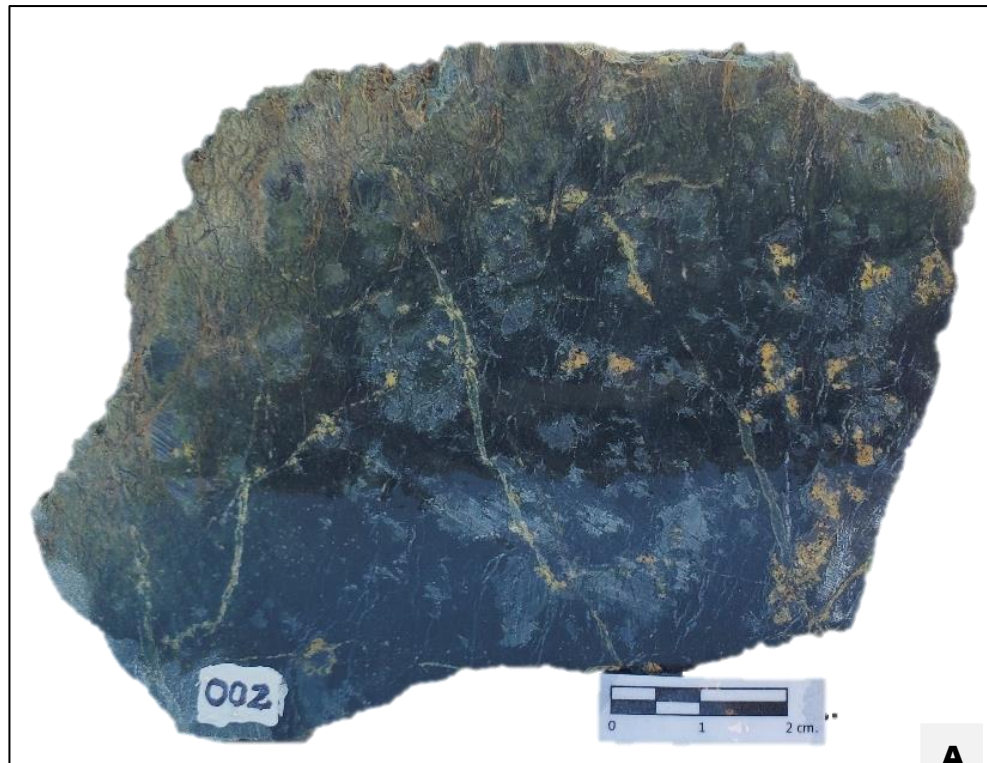
ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris verdoso, de textura lepidoblástica, con relictos de cristales anhedrales de magnesita (mgs) de estructura esquistosa y superficies macizas, con aparentes capas de foliación, dándole aspecto bandeado, cortada por venillas milimétricas principalmente por crisotilo (cst). La roca está constituida básicamente por serpentinas (spt) en un (90%) y como minerales accesorios, se tiene epidota (ep), cloritas (CLOs), relictos de plagioclasas cálcicas (PGLs) y cuarzo (cz). En la figura 27-B, se observa un cristal subhedral de magnesita (mgs) fracturado, en matriz de serpentina. En la figura - C, tenemos cristal de cuarzo (cz) fracturado y rellenado por crisotilo (cst) y otras variedades de serpentinita (spt).

#### 4.5.3 Muestra: ACOB-002



### Figura 33

*Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 002*



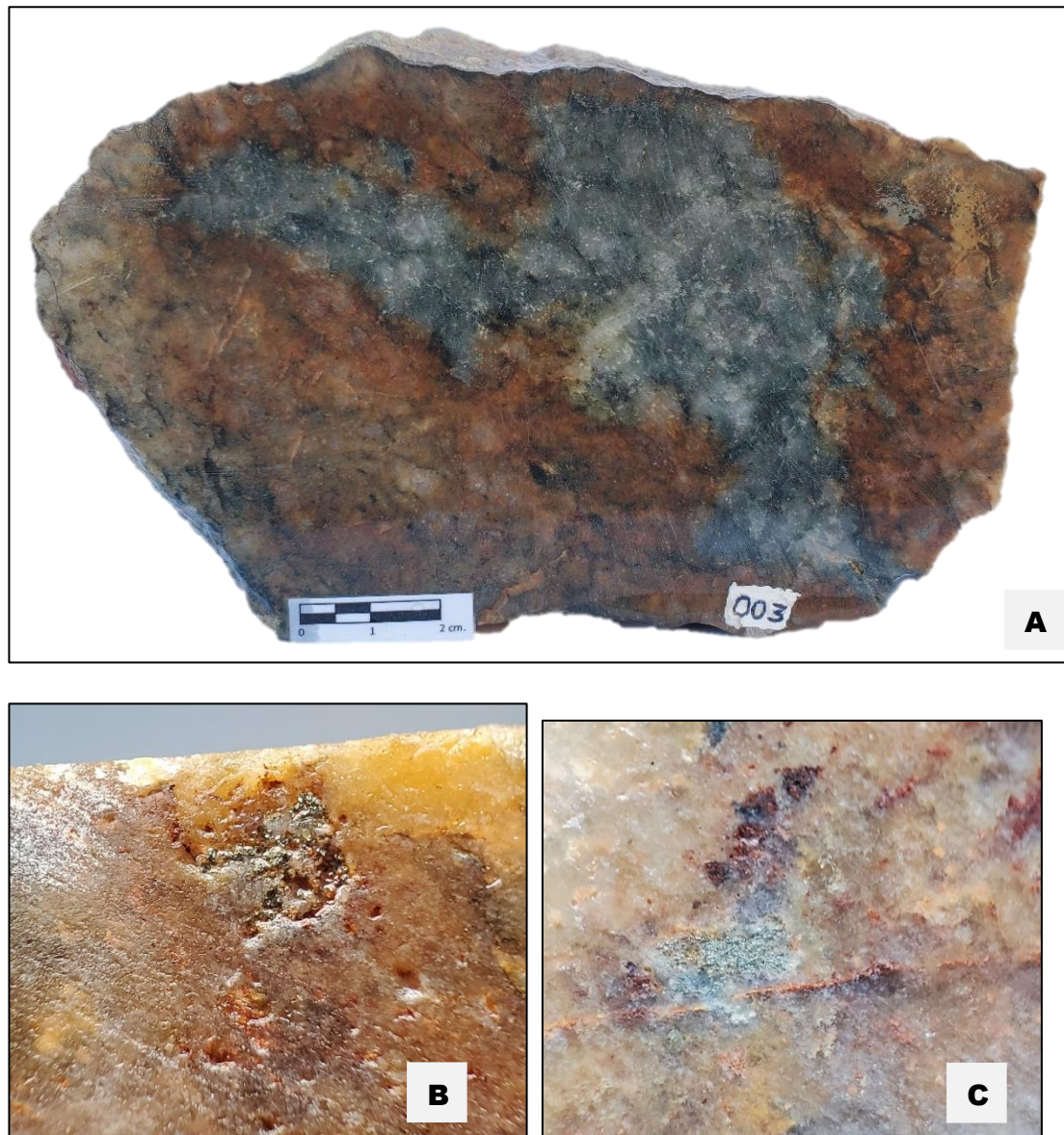
ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris verdoso, de textura lepidoblástica, de estructura esquistosa, con aparentes capas de foliación, dándole aspecto bandeado, sedoso, cortada por múltiples venillas milimétricas de crisotilo (cst). La roca está conformada principalmente por serpentinas (spt), en un (85%), y los minerales accesorios presentes son, epidota (ep),

cloritas (CLOs), muscovita (mus) y arcillas (ARCs) básicamente entre las microfracturas y asociado a los relictos de plagioclasas cálcicas (PGLs). En la figura 28-B, se observa venillas rellenas por crisotilo (cst) en forma de rosario elongado o más conocidas como microestructuras en lazo zigmoide producto de los esfuerzos compresivos. En la figura 33-C, se observa mayor presencia de arcillas (ARCs) y micas relleno fracturas en forma de lazo sigmoide más pronunciado.

#### 4.5.4 Muestra: ACOB-003

#### Figura 34

*Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 003*

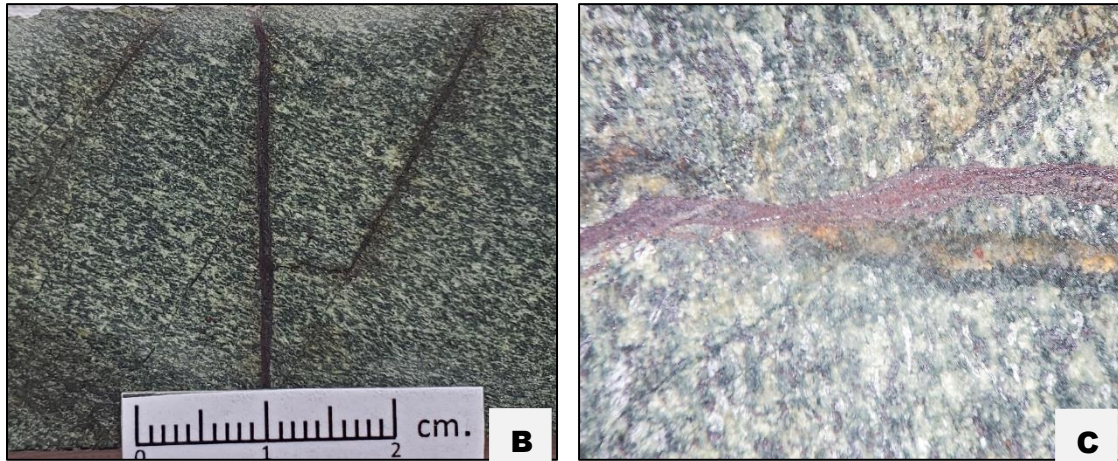




TECTONITAS CON RASTROS DE SERPENTINITA, Roca metamórfica, de color gris blanquecino, y naranja grisácea, de textura granonematoblástica, de estructura maciza por partes y fracturada (brecha) por ciertas zonas de la muestra, muchas de estas microfracturas están rellenas por óxidos de hierro, hematita (hm) y magnetita (mt) principalmente, de igual manera se puede identificar cristales de sulfuros, muchos de ellos en proceso de oxidación, estos básicamente son pirita (py). La roca está conformada por cuarzo (cz) en gran parte (85%) de dos coloraciones bastante definidas, una blanquecina y otra naranja grisácea, lo que indica que son de eventos diferentes, luego por serpentinas (spt) ocupando los espacios libres (13%) mientras lo demás lo completan entre arcillas (ARCs), sulfuros y óxidos. En la figura 29-B, se aprecia la pirita cristalizada en forma diseminada. En la figura 34-C, se observa la hematita y magnetita relleno de fracturas.

#### 4.5.5 Muestra: ACOB-007



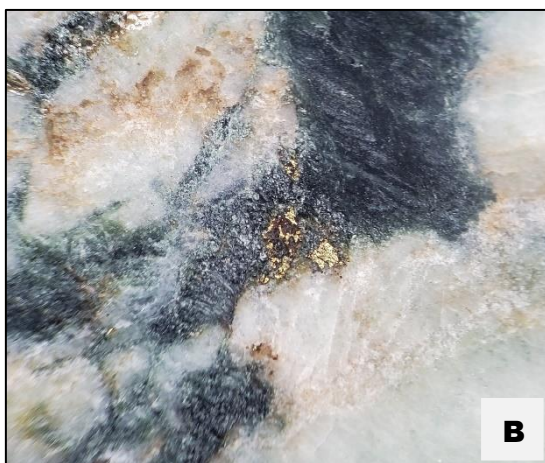
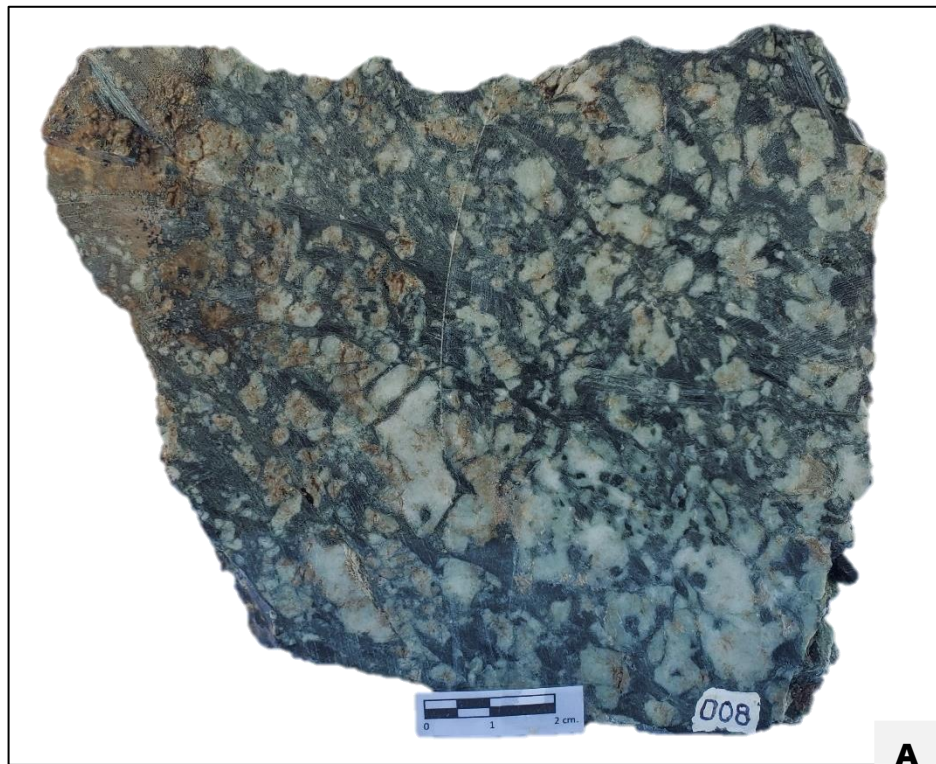


**Figura 35.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 007

ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris oscuro verdoso, de textura granolepidoblástica, con cristales que siguen un cierto orden, dándole un aspecto bandeado, cortada por venillas milimétricas en diferentes direcciones, que están rellenas por magnetita (mt), además las magnetitas se encuentra también en forma diseminada y muchas de ellas bien cristalizada, todo ello le da un magnetismo de alto grado, conformada principalmente por serpentinas (spt) y como minerales accesorios, plagioclasas cálcicas (PGLs), epidota (ep), cloritas (CLOs), relictos de ¿olivino? (olv) y minerales opacos (OPs) estos accesorios hacen un (15%). En la figura 30-B, se observa una venilla principal rellena por magnetita y hematita en forma masiva dentro de la fractura. En la figura 35-C, intersección de dos venillas la primera de cuarzo que está siendo cortada por la venilla de magnetita.



#### 4.5.6 Muestra: ACOB-008

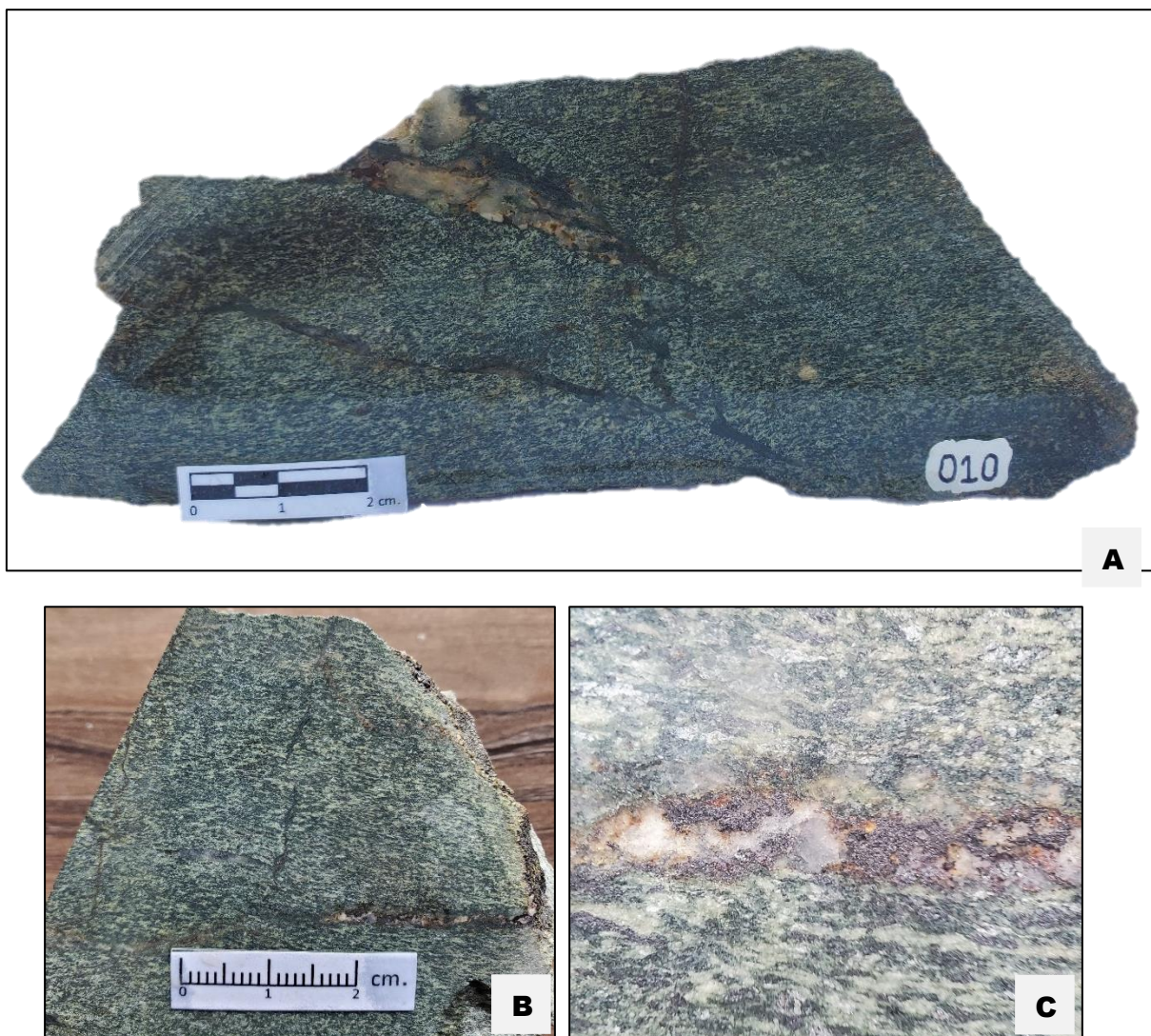


**Figura 36.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 008

BRECHA SERPENTINIZADA, Brecha monomítica metamorfozada, de color gris verdoso por la matriz, y blanquecina por los clastos, de textura granoporfidoblástica, con superficies sedosa con aparentes capas de foliación, cortada por venillas milimétricas, rellenas por una variedad de serpentina que son cristales de crisotilo (cst), y en forma diseminada microcristales de pirita (py). Los clastos macroscópicamente en su totalidad conformadas por cuarzo (cz)

conformando un (40%) y matriz de serpentina (spt) con (50%), como accesorios tenemos relictos de plagioclasa cálcica (PGLs) normalmente se encuentran entre los límites de clasto y matriz, además tenemos epidota (ep), cloritas (CLOs), y arcillas (ARCs). En la figura 36-B, se observa pequeños cristales de pirita (py) en proceso de oxidación. En la figura 36-C, tenemos microfracturas rellenas por crisotilo y un cristal bastante pequeño en la parte izquierda inferior ¿granate? (GRNs)

#### 4.5.7 Muestra: ACOB-010



**Figura 37.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 010

ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris oscuro verdoso, de textura granolepidoblástica, con cristales que siguen un cierto

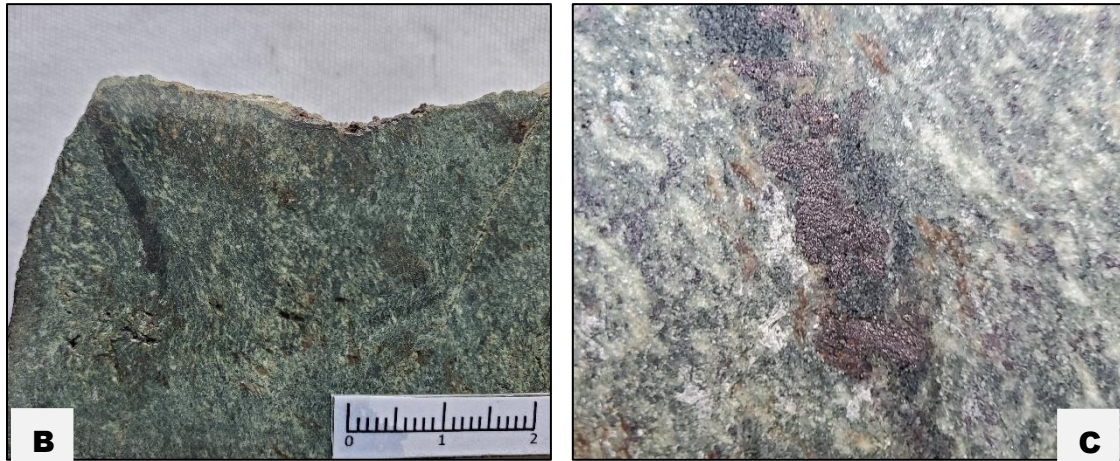


orden, dándole un aspecto bandeado, cortada por venillas milimétricas en diferentes direcciones, y están rellenas por magnetita (mt), y cuarzo (cz), en la muestra se aprecia una fractura de aproximadamente 1 cm, rellena por cuarzo (cz), magnetita (mt), hematita (hm) y otros óxidos, además las magnetitas se encuentra también en forma diseminada, lo que hace que tenga un magnetismo alto a muy alto. La muestra está conformada principalmente por serpentinas (spt) (85%) y como minerales accesorios, plagioclasas cálcicas (PGLs), epidota (ep), cloritas (CLOs), relictos o fantasmas de ¿olivino? (olv) y minerales opacos (OPs) estos accesorios hacen un (15%). En la figura 37-B, se observa una venilla en posición subvertical en la figura, se encuentra fracturada escalonadamente, además rellena por magnetita, hematita y cuarzo. En la figura 37-C, se evidencia con claridad la micro venilla rellena por magnetita, hematita y cuarzo.

#### 4.5.8 Muestra: ACOB-012



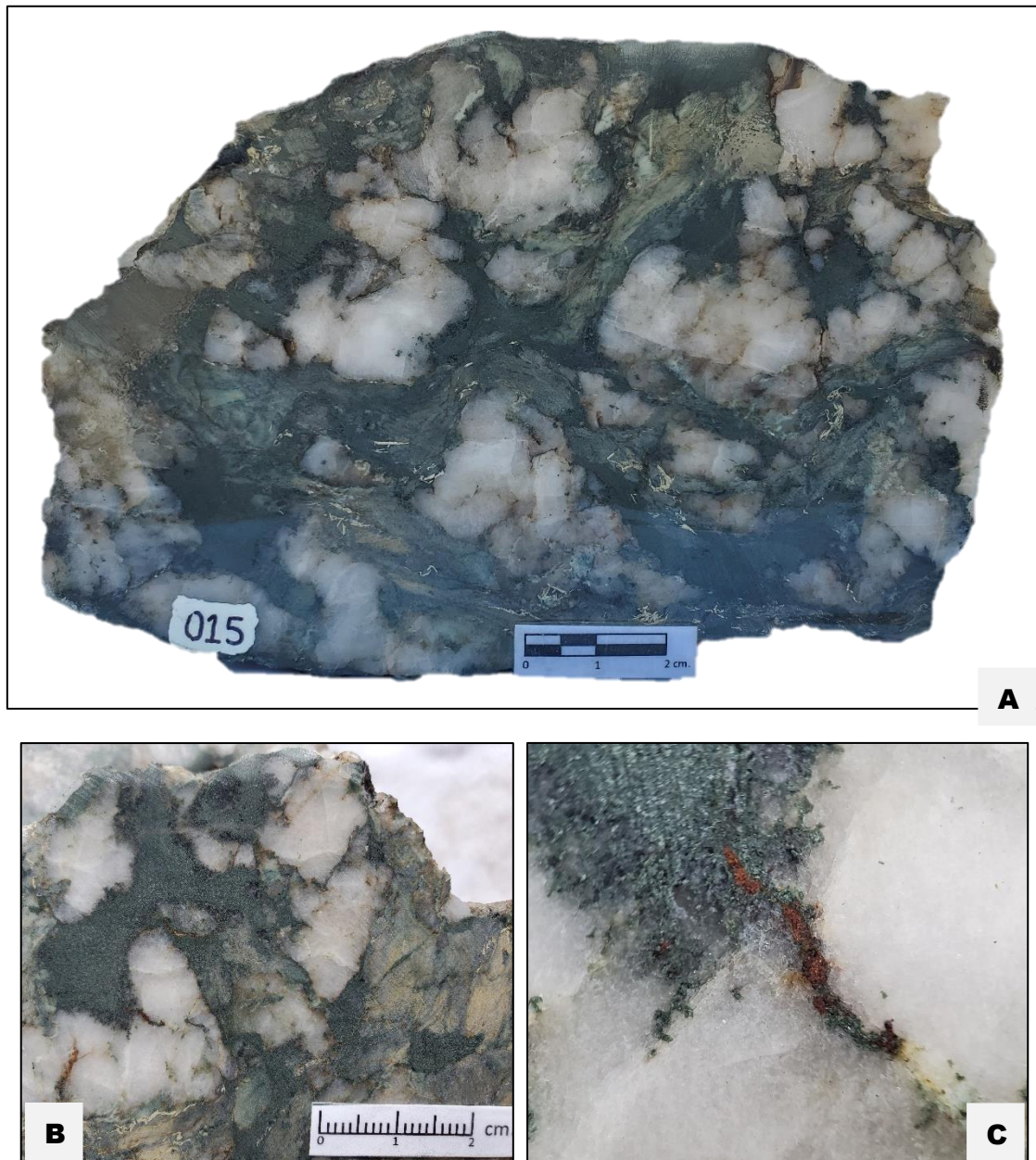




**Figura 38.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 012

ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris oscuro verdoso, de textura granolepidoblástica, cortada por venillas milimétricas rellenas por magnetita (mt), arcillas y en ocasiones espacios vacíos, asimismo las magnetitas se encuentran también en forma diseminada, y muchas de ellas cristalizadas, lo que hace que tenga bastante magnetismo. La muestra constituida principalmente por serpentinas (spt) (80%) y como minerales accesorios, plagioclasas cálcicas (PGLs), en mayor cantidad que las muestras anteriores, también se evidencia epidota (ep), cloritas (CLOs), relictos de ¿olivino? (olv), y minerales opacos (OPs) en su mayoría óxidos, en conjunto hacen un (15%). En la figura 38-B, se observa micro fracturas sin relleno y si tienen son arcillas (ARCs) en mínimas cantidades. En la figura 38-C, se evidencia micro venilla rellena por magnetita, hematita y en cantidad ínfima por cuarzo.

#### 4.5.9 Muestra: ACOB-015



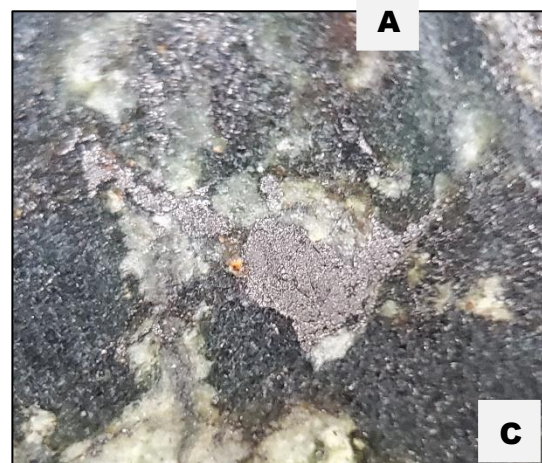
**Figura 39.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 015

BRECHA SERPENTINIZADA, Brecha monomítica metamorfizada, de color gris verdoso por la matriz, y blanquecina por los clastos, de textura granoporfidoblástica, con superficie sedosa con aparente finas capas de foliación, cortada por venillas milimétricas, rellenas por crisotilo (cst), y óxidos, principalmente por magnetita (mt) también ¿cromita? (crm) en forma diseminada muy esporádicamente microcristales de piritita (py). La brecha está conformada por



clastos en su totalidad por cuarzo (cz) conformando un (30%) y matriz de serpentina (spt) con (65%), como accesorios tenemos epidota (ep), cloritas (CLOs), y arcillas (ARCs). En la figura 39-B, se observa como las pequeñas fracturas están generalmente en cuarzo y están siendo rellenadas por óxidos. En la figura 39-C, tenemos microfractura rellena por óxidos de hierro, magnetita (mt), ¿ilmenita? (ilm) y ¿óxido de cromo? ¿cromita? (crm).

#### 4.5.10 Muestra: ACOB-004

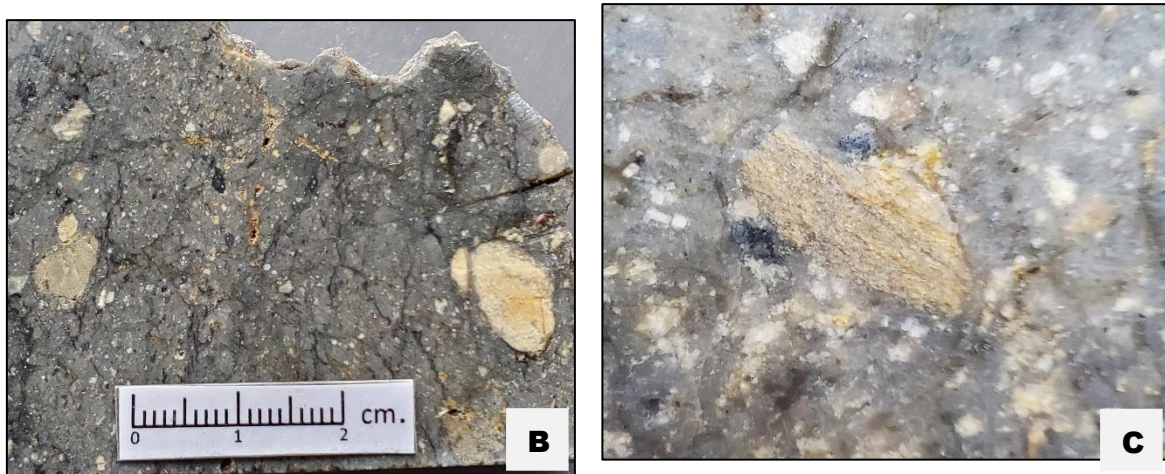


**Figura 40.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 004

ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris verdoso, de textura lepidoblástica, de estructura esquistosa, con aparentes capas de foliación, dándole aspecto bandeado, sedoso, cortada por múltiples venillas milimétricas de crisotilo (cst) y arcillas (ARCs), en forma diseminada y en ocasiones pequeños cristales masivos de magnetita (mt) lo que hace que la muestra tenga bastante magnetismo. La roca está conformada principalmente por serpentinas (spt), hasta un (85%) lo demás por minerales accesorios como, epidota (ep), cloritas (CLOs), muscovita (mus) y arcillas básicamente entre las microfracturas. En la figura 40-B, se observa venillas rellenas por crisotilo (cst) en forma de rosario elongado o más conocidas como microestructuras en lazo zigmoide. En la figura 40-C, cristal masivo de magnetita (mt) (color gris) en la figura.

#### 4.5.11 Muestra: ACOB-005



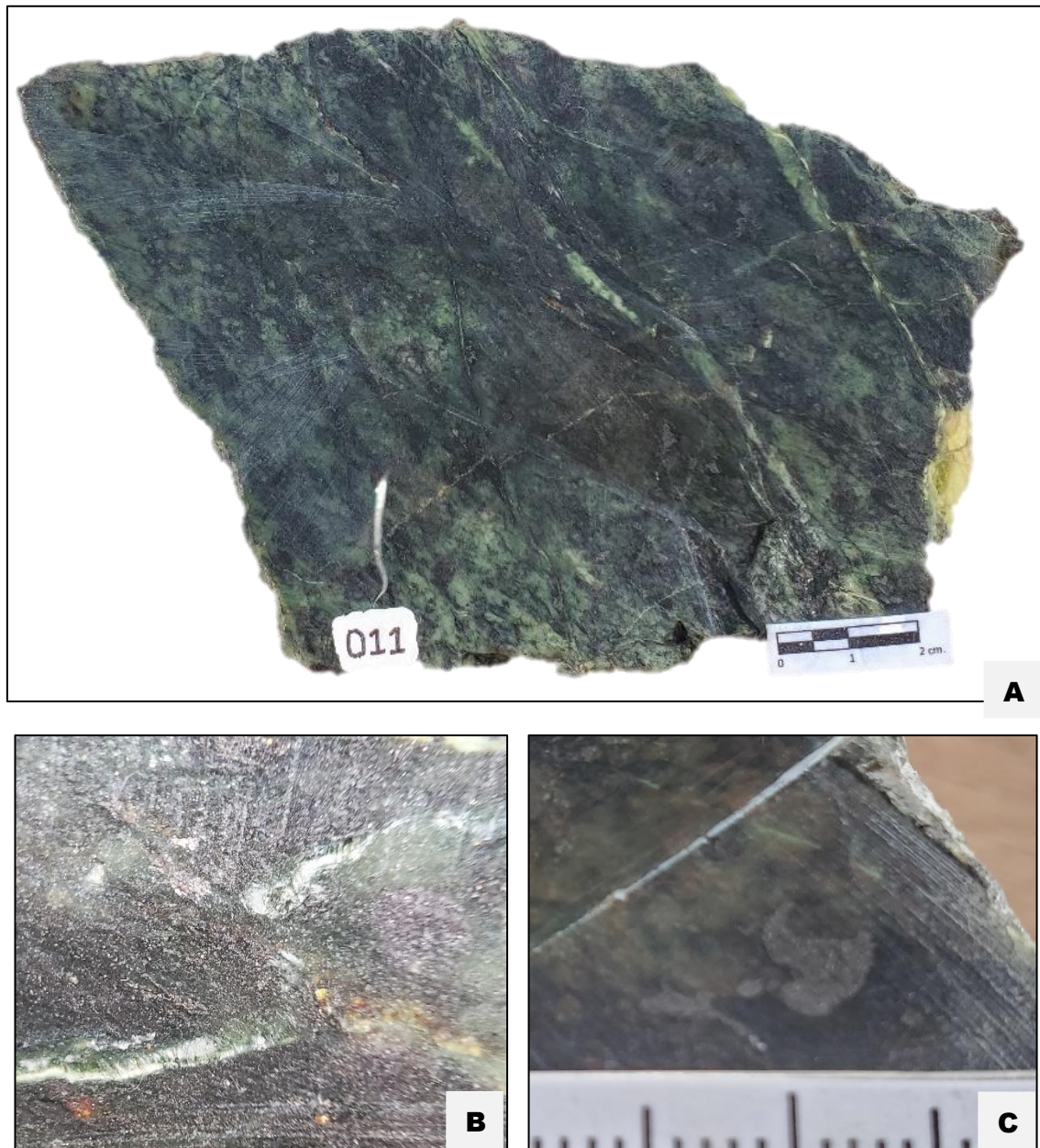


**Figura 41.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 005

ROCA SERPENTINIZADA Y BRECHADA, Roca metamórfica brechada, de color gris de textura granoporfidoblástica, cortada por venillas milimétricas, rellenas por arcillas (ARCs), algunas son espacios vacíos, por otro lado, tenemos en forma diseminada microcristales de óxidos de hierro y ¿sulfuros? Mientras que lo brechada vendría a ser polimíctico, debido al contenido de clastos, que son serpentinas (spt) y cuarzo (cz), ambos un (55%) y la matriz también compuesta por serpentina (spt) y arcillas (ARCs) ambos conforman un (35%), como accesorios tenemos epidota (ep), cloritas (CLOs), talco (tal) y minerales opacos (OPs). En la figura 41-B, se observa clastos de cuarzo (cz) y la propia serpentinita (spt). En la figura 41-C, tenemos clasto de cuarzo / ¿cuarcita? y minerales opacos (OPs) en forma diseminada.



#### 4.5.12 Muestra: ACOB-011



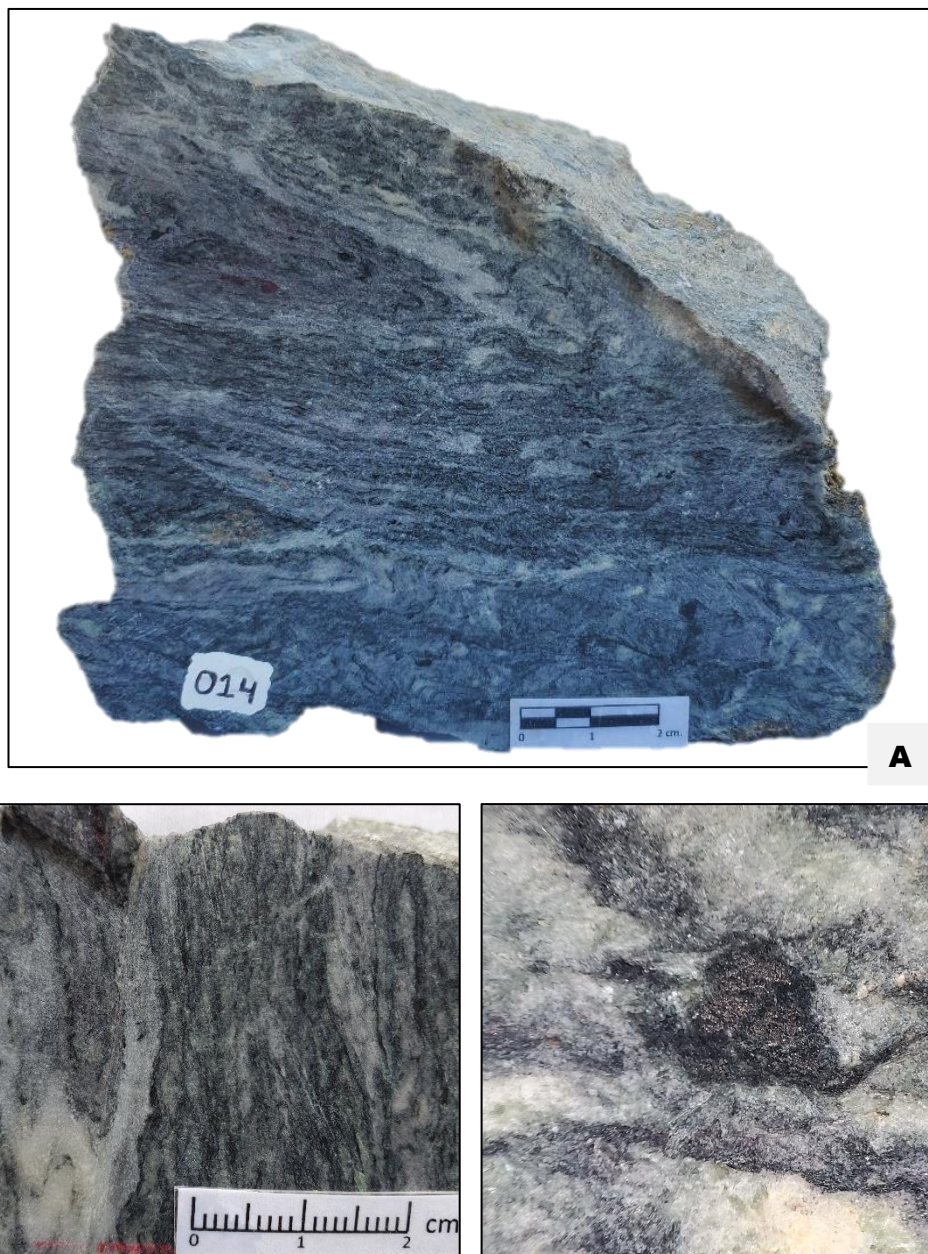
**Figura 42.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 011

ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris verdoso, de textura lepidoblástica, de estructura esquistosa, con aparentes capas de foliación, dándole aspecto bandeado, sedoso, cortada por múltiples venillas milimétricas de cuarzo (cz) y otras por crisotilo (cst) y en forma diseminada observamos presencia de magnetita (mt) lo que hace que la muestra tenga magnetismo alto. La roca está constituida principalmente por serpentinas (spt), hasta un (90%) lo



demás por minerales accesorios como, epidota (ep), cloritas (CLOs), muscovita (mus), talco (tal) y arcillas (ARCs). En la figura 42-B, se observa una micro falla con relleno de óxidos de hierro, cortando una venilla rellena por cuarzo (cz). En la figura 42-C, cristal masivo de magnetita (mt) (color gris) en la figura.

#### 4.5.13 Muestra: ACOB-014



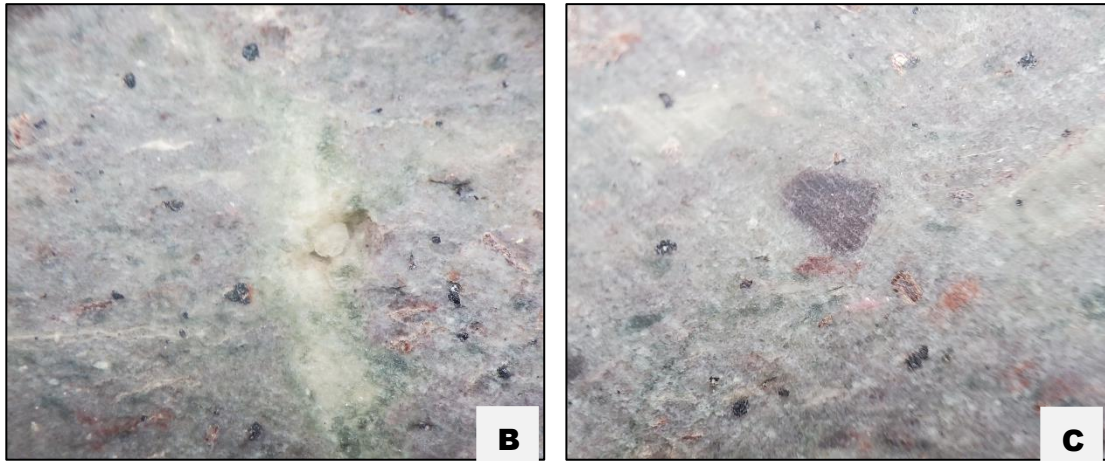
**Figura 43.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 014

ROCA ULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA, Roca metamórfica, de color gris oscuro verdoso, de textura granolepidoblástica, con un aspecto bandeado bastante deformado, cortada por venillas milimétricas en diferentes direcciones, rellenas por cuarzo (cz), también se tiene magnetita (mt) en forma diseminada, con lo cual la muestra tiene magnetismo alto. La muestra está conformada principalmente por serpentinas (spt) (85%), cuarzo (cz) bandeado paralelo a las serpentinas en un (10%), como minerales accesorios, cloritas (CLOs), epidotas (ep), biotitas (bt), anfíboles (ANFs), piroxenos (PXs), relictos o fantasmas de ¿olivino? (olv) y minerales opacos (OPs) difíciles de identificar a la lupa. En la figura 43-B, se observa cuarzo metamórfico (cz) bastante deformado paralelo a las foliaciones de serpentina (spt). En la figura 43-C, se evidencia un cristal anhedral o masico de magnetita (mt) color gris en la figura.

#### 4.5.14 Muestra: ACOB-006



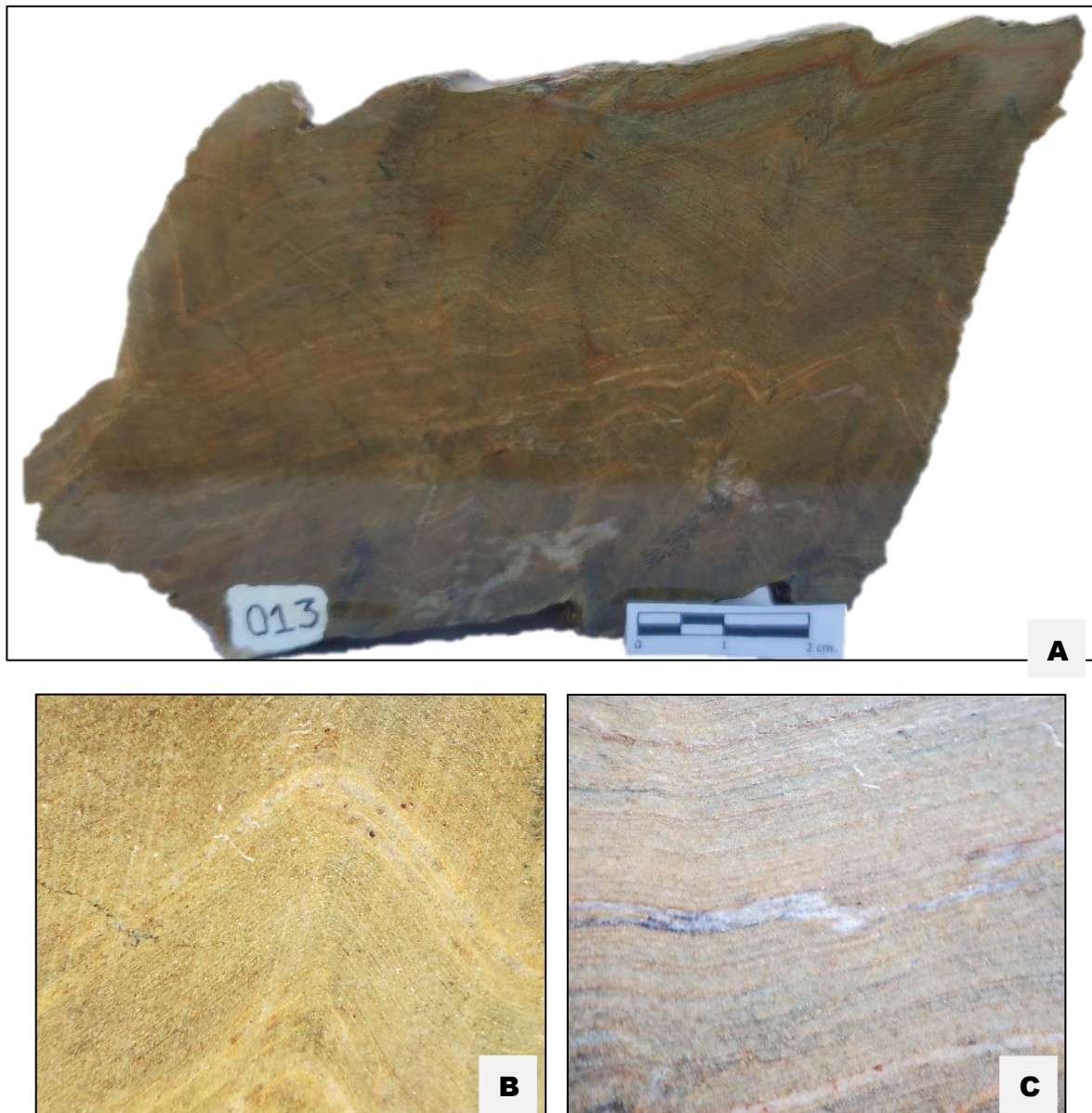




**Figura 44.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 006

ROCA SERPENTINIZADA Y BRECHADA, Roca volcánica, de color gris ligeramente verdoso, de textura granoporfidoblástica, cortada por venillas milimétricas, rellenas en su mayoría por cuarzo (cz). La roca está constituida principalmente por clastos de serpentinitas (dicha diferencia se puede apreciar al microscopio) y cristales fracturados de magnetita (mt), sulfuros y en menor cantidad de cuarzo (cz), como matriz se tiene serpentinas (spt) y sílice precisamente la ocasionó una fuerte silicificación, como minerales accesorios, se tiene epidota (ep), cloritas (CLOs), ¿magnesita? (mgs) y óxidos de hierro. En la figura 44-B, tenemos cristales fracturados en forma diseminada de minerales opacos (OPs) difíciles de diferenciar a la lupa. En la figura 44-C, se observa un clasto o fragmento lítico de otra composición ¿cuarcita? en sección delgada se dará una mejor descripción.

#### 4.5.15 Muestra: ACOB-013



**Figura 45.** Fotografía macroscópica de la muestra ACOB – 013

FILONITA: Roca metamórfica, de color gris marrón, textura granolepidoblástica de grano fino, estructura bandeada o foliada y plegada, conformada por minerales félsicos intercalada con máficos, cortadas por micro fracturas rellenas por cuarzo (cz). Entre los minerales félsicos se tiene cuarzo (cz) de grano fino, conformando un (35 %), mientras que los máficos en un (65%) constituido por, cloritas (CLOs), epidotas (ep), biotitas (bt), anfíboles (ANFs), piroxenos (PXs), y minerales opacos (OPs), difíciles de identificar a la lupa, la muestra





en general tiene un color de tono marrón, eso debido a la oxidación de algunos minerales por estar entre las filitas y cuerpo serpentizado. En la figura 45-B, se observa un microplegamiento, la zona de charnela es la más deformada y con presencia de microcristales de minerales opacos (OPs). En la figura 45-C, se observa una venilla de 1mm de ancho aprox, cortando paralelamente la foliación de la roca, rellena por cuarzo (cz), óxidos de hierro, y en parte inferior de figura micro cristal de ¿granate? (GRNs).



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio está ubicada en el cuadrángulo de Tarma, hoja 23-I, cuadrante II, donde se evidencia afloramientos de formaciones geológicas precámbricas que son consideradas las más antiguas de la Cordillera Oriental, conformada por diversas unidades, específicamente en el área se evidencia 4 afloramientos alargados (Ver mapa 05 y 06) con cierta dirección NW – SE, bastante serpentinizados, que se detallara en este capítulo, tanto en el estudio petrográfico y mineragráfico.

La caracterización petrográfica y mineragráfica se realizó en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, utilizando principalmente el Microscopio de polarización - Leica DM2700P, para caracterizar las secciones delgadas y secciones pulidas, también se hizo uso del estereomicroscopio Leica EZ4, principalmente para la descripción macroscópica de las muestras obtenidas del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba, en total son 15 muestras de las cuales a cada una se le realizó su sección delgada y su sección pulida, obteniendo en total 30 secciones para el respectivo estudio, con el objetivo de caracterizar petrográfica y mineragráficamente las diferentes variedades de rocas del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba – Tarma.

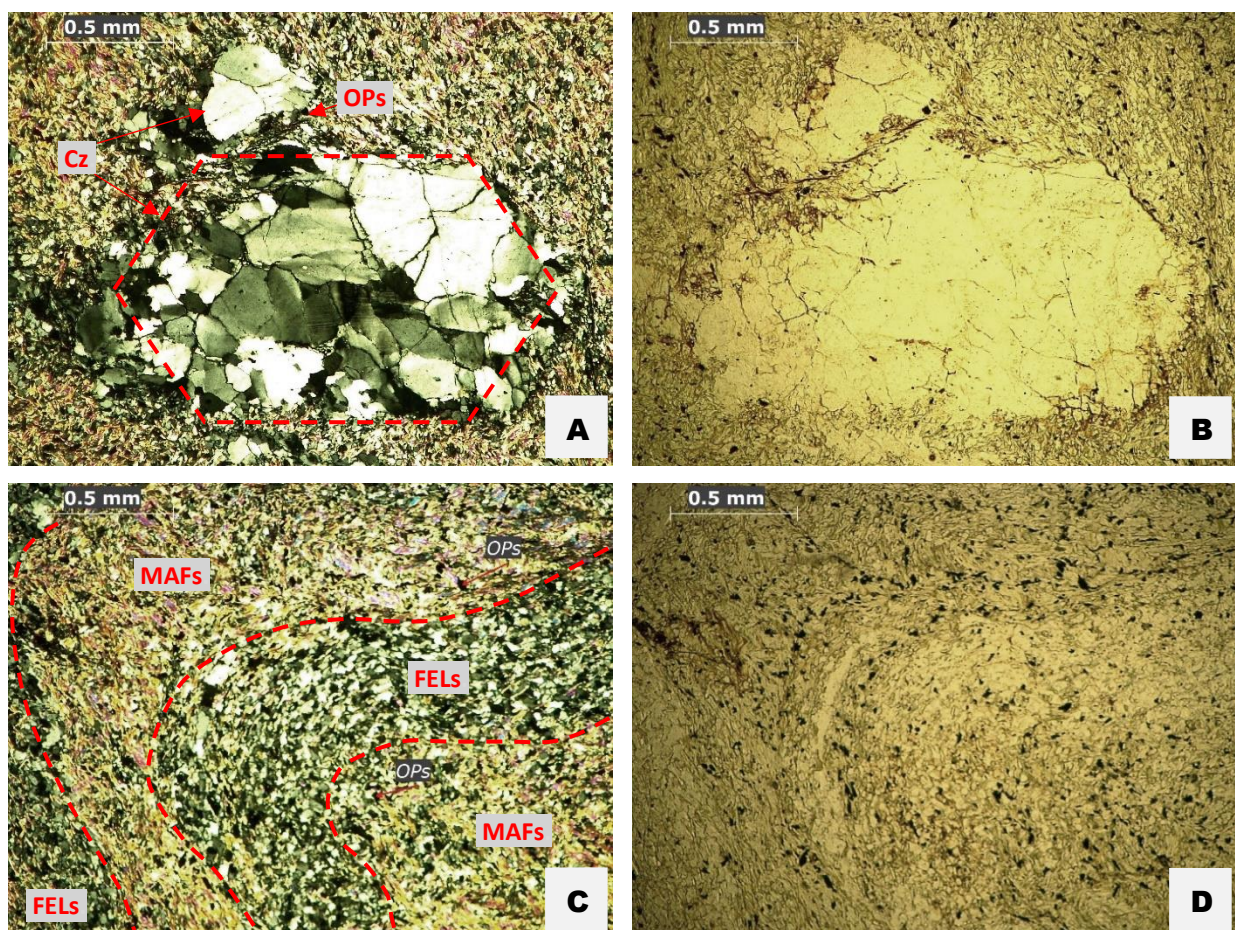
Se identificaron principalmente minerales de composición máficas o ultramáficas, como: anfíboles (ANFs), piroxenos (PXs), biotitas (bt) epidotas (ep) cloritas (CLOs), también se tiene presencia de cuarzo (cz) en la mayoría de las muestras, como minerales opacos, tenemos principalmente, cromitas (crm), magnetitas (mt), hematitas (hms) ilmenitas (ilm), piritas (py) calcopiritas (cp) entre otros minerales que son característicos de este tipo de formaciones geológicas. Es importante mencionar que el trabajo se realizó, con el financiamiento del 100% propio, además la caracterización fue realizada también por el autor,

incluyendo la toma y edición de las microfotografías, se recibió el apoyo profesional de especialistas en el tema en ciertos pasajes del trabajo.

## 5.1 CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y RELACIÓN ESPACIAL DE LOS MINERALES

La descripción petrográfica se realiza respetando el orden de los afloramientos 1, 2, 3 y 4, similar al orden de la descripción macroscópica.

### 5.1.1 Muestra: ACOB - 009



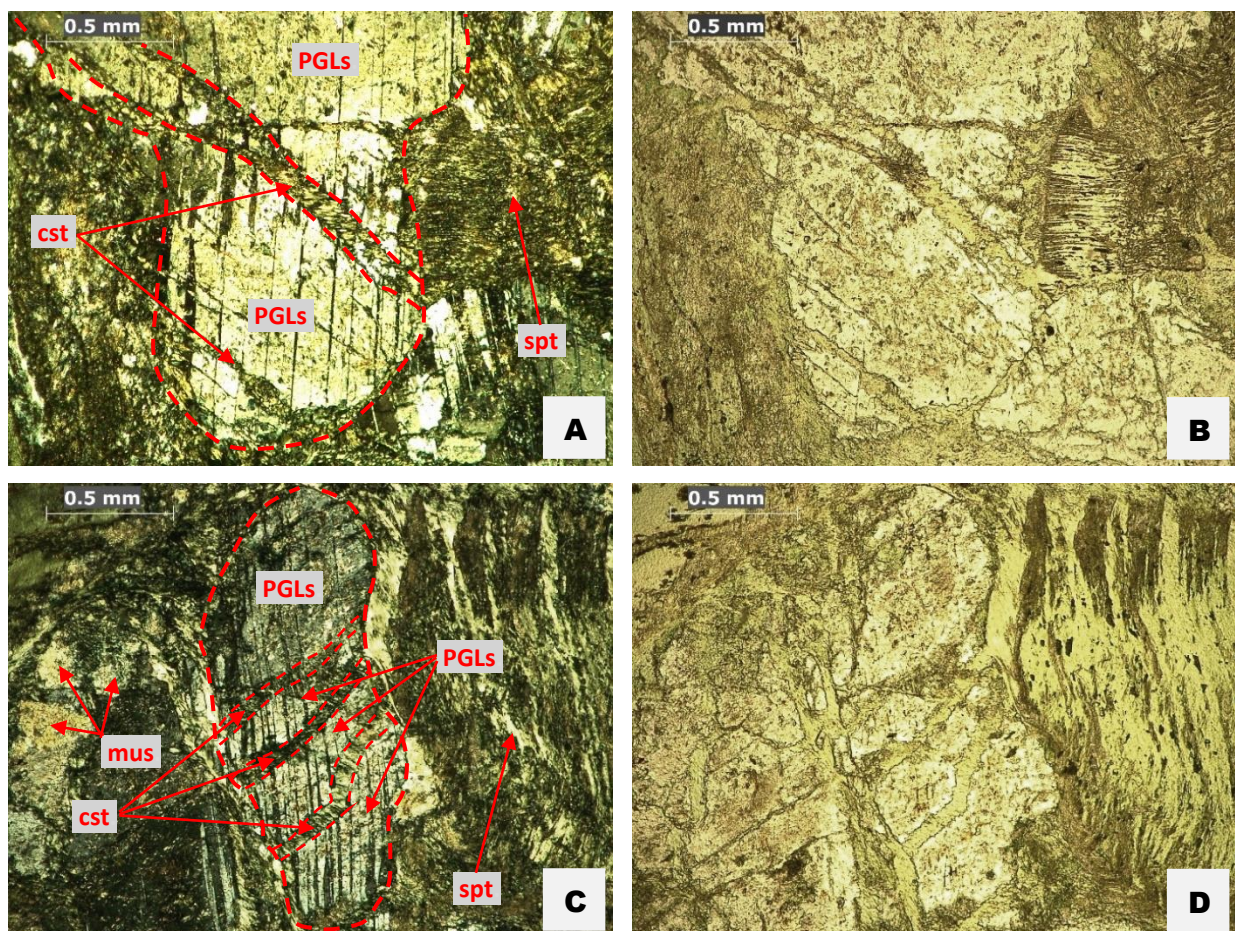
**Figura 46.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-009: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D)

Figura 46 (A y B) corresponden a una misma fotomicrografía, en ella se puede observar un cristal de cuarzo (cz) fracturado, que aún conserva su sistema de cristalización hexagonal, cuyas dimensiones son 2 mm x 1 mm, evidentemente este cristal



sufrió cierta deformación, al lado derecho conserva mejor sus caras, mientras al izquierdos se encuentra más fracturado y aparentemente discurrido, el cristal en conjunto se encuentra como porfidoblasto dentro de la matriz homogénea conformada por cuarzo (cz), biotita (bt) arcillas (ARCs) y minerales opacos (OPs) que posiblemente sean en gran parte magnetita (mt). En la figura 46 (C y D), se observa microplegamientos asimétrico con bandas definidas entre las capas de minerales filosilicatos, como muscovita (mus) y biotita (bt) (banda de color más oscuro - MAFs) y las capas de cuarzo (cz) de origen metamórfico, (banda de color más blanquecino - FELs) mientras que los minerales opacos (OPs) se encuentran en mayor concentración a lo largo del contacto entre las capas y rellenando microfracturas; la mayor deformación se encuentra en la charnela

### 5.1.2 Muestra: ACOB - 001



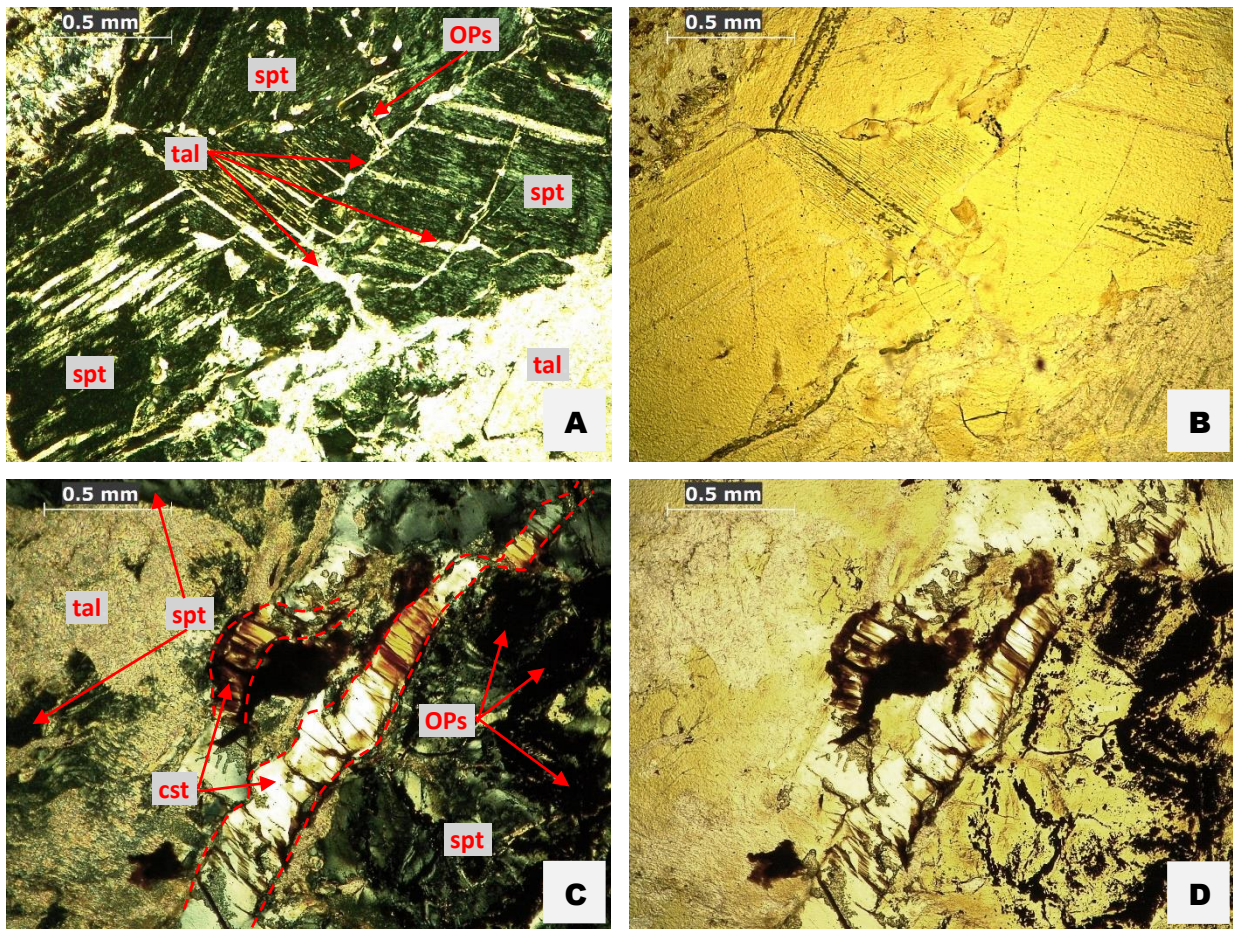
**Figura 47.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-001: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D)





En la figura 47 (A y B), se observa un cristal fracturado de plagioclasa (PGLs) con maclas polisintéticas, de 1.10 mm de ancho en la parte de la base del cristal según la imagen, cortada por venillas rellenas por crisotilo (cst), este último de habito fibroso, típico de esta variedad de serpentina; la abertura de es venilla tiene aproximadamente 0.10 mm, los bordes del cristal se encuentran en proceso de alteración a arcillas (ARCs) producto de la interacción de roca y fluidos circulando entre las fracturas del macizo, este cristal se encuentra bordeado por serpentinas (spt) en su totalidad según se muestra en la fotomicrografía. En la figura 47 (C y D), resalta también el cristal de plagioclasa (PGLs) con 1.75 mm de largo por 0.75 mm de ancho con deformación en tipo falla del cristal cuyas fracturas están rellenas por crisotilo (cst), y tienen 0.065 mm de abertura, ¿talco? (tal) y muscovitas (mus) todo ello en matriz de serpentina (spt) principalmente acompañada por cloritas (CLOs) y epidota (ep), posiblemente fantasmas de Olivino (olv) entre los crisotilos.

### 5.1.3 Muestra: ACOB - 002

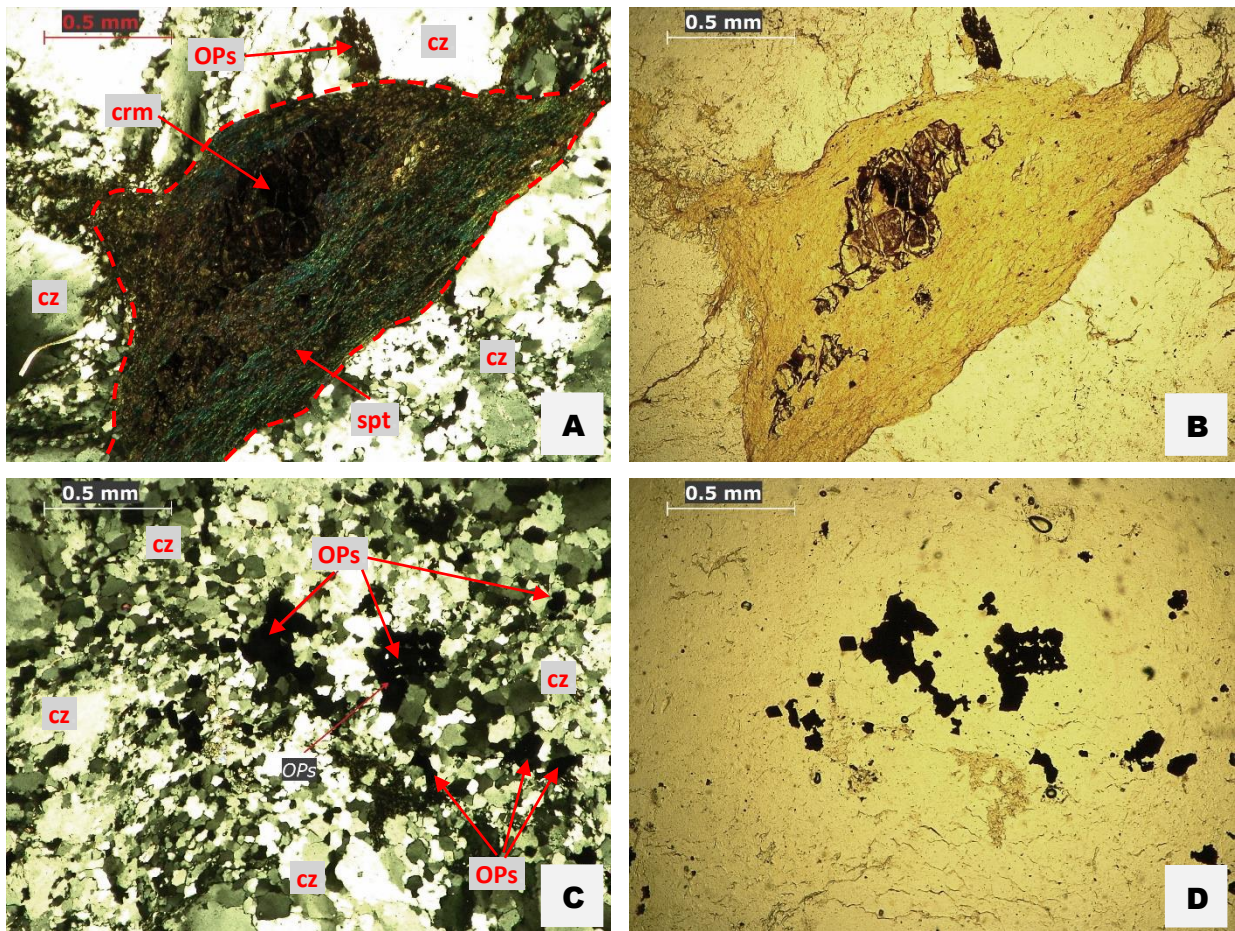


**Figura 48.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-002: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D)

En la figura 48 (A y B), se puede observar serpentina (spt) básicamente con varias fracturas, y una de ellas es el talco (tal) cuyas fracturas están siendo rellenadas por serpentina (spt), posiblemente de la variedad de antigorita (atg) y lizardita (lz), de 0.35 mm de escalón a escalón, también está presente epidota (ep), clorita (CLOs), micas y pequeños cristales de opacos (OPs) que apenas llega a los 0.02 mm de diámetro. En la figura 48 (C y D), parte izquierda de la figura se evidencia, talco (tal), bordeado por serpentina (spt), con fractura rellenada por crisotilo (cst) en proceso de alteración y minerales opacos invadiendo a la serpentina, se puede apreciar mejor en NP, figura 48-D, el cristal euhedral (cubico) de mineral opaco tiene una dimensión de 0.18 mm x 0.15 mm, y se encuentra en la parte derecha superior de la figura.



### 5.1.4 Muestra: ACOB - 003

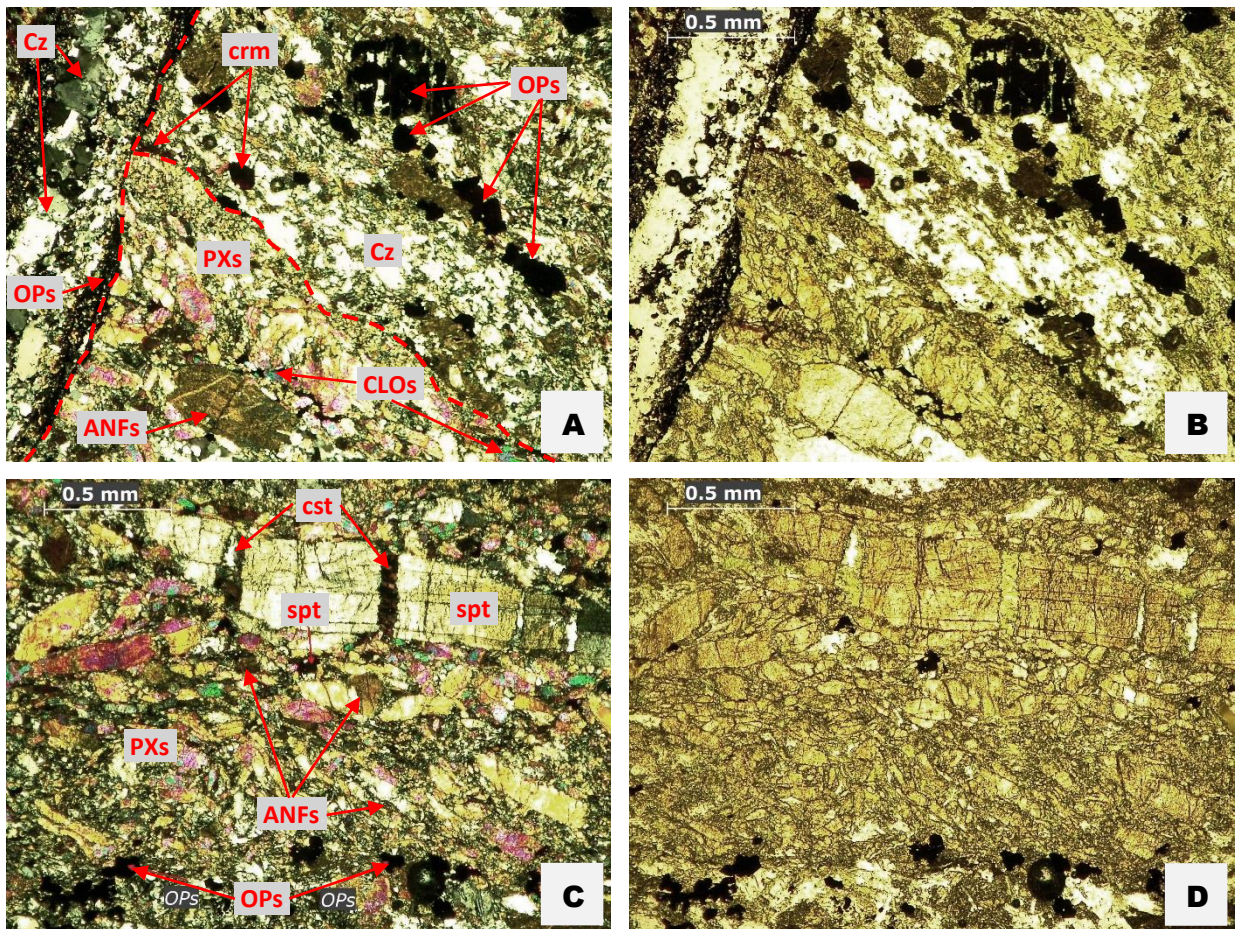


**Figura 49.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-003: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D)

En la figura 49 (A y B), se evidencia cristal fracturado de cromita (crm) de 0.45mm x 0.35mm se puede apreciar mejor en NP o figura 49-B, en proceso de alteración a minerales opacos (OPs) que posiblemente sea magnetita, dicha cromita se encuentra en medio de la serpentina (spt) de 1.00 mm x 2.00 mm y esta a su vez rodeada por cuarzo (cz) craquelado o fracturado. En la figura 49 (C y D), vemos presencia de cuarzo de grano medio a fino y rastros de minerales Opacos (OPs), por la cristalización cubica se asume que pueden ser sulfuros, ¿pirita? (py) ello se describirá y determinará a mayor detalle en las secciones pulidas, estos cristales cúbicos tienen una dimensión de 0.07 mm x 0.07 mm, se encuentran en forma diseminada.



### 5.1.5 Muestra: ACOB – 007



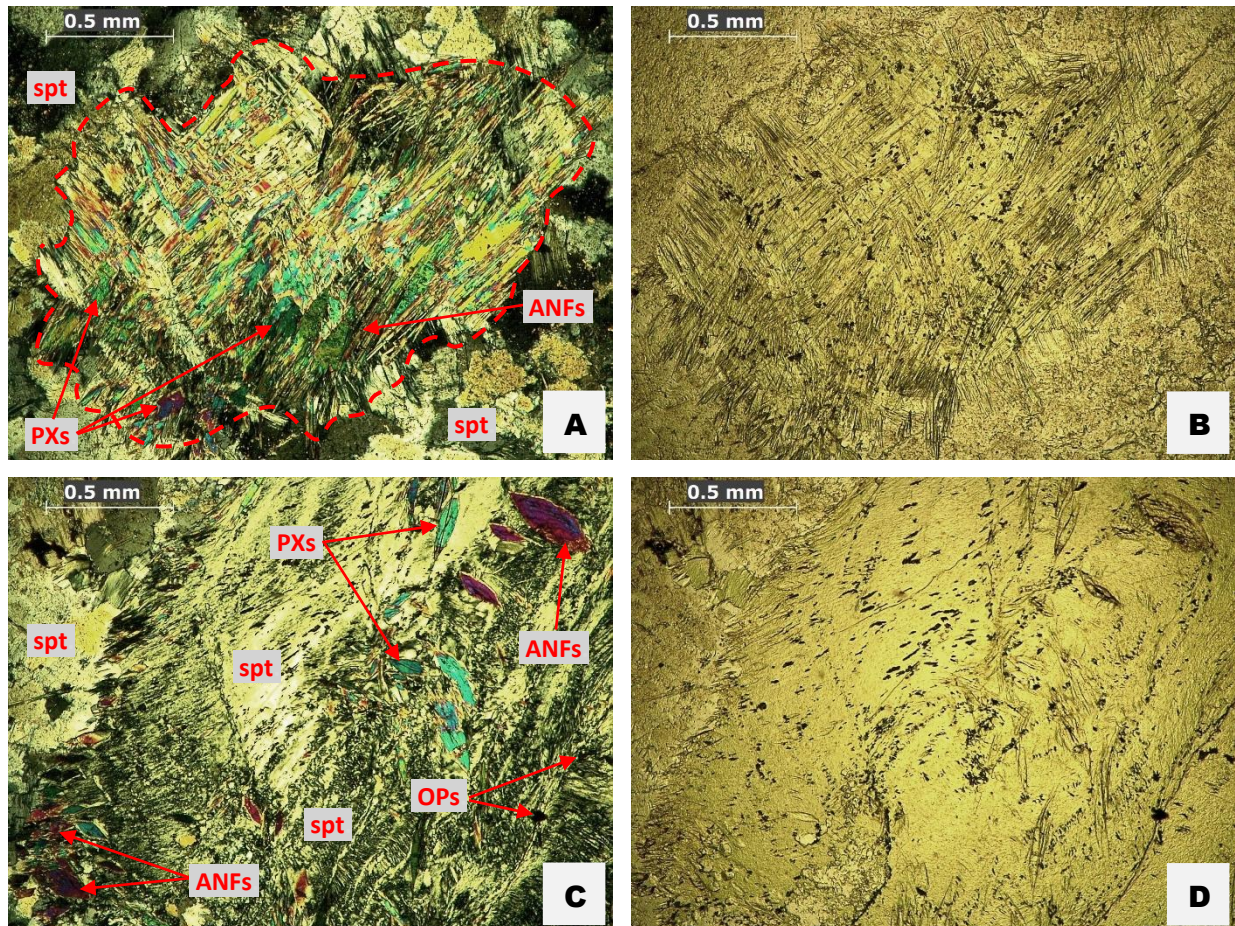
**Figura 50.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-007: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D)

En la figura 50 (A y B), se observa 3 zonas bien definidas, (zona superior derecho según figura 50-B) donde se aprecia varios cristales de minerales opacos (OPs), zona de cuarzo (cz) y un cristal de cromita (crm); (zona inferior derecho según figura 45-B) zonas de minerales ultramáficos, con presencia de anfíboles (ANFs), piroxenos (PXs), cloritas (CLOs), epidota (ep); (zona izquierda según figura 50-B), presencia de una venilla, donde se encuentra rellena en su mayoría por minerales opacos (OPs) que posiblemente sean magnetita según la descripción macroscópica y cuarzo (cz), todo ello dentro de una matriz básicamente conformado por serpentinas. En la figura 50 (C y D), tenemos presencia de numerosos cristales de anfíboles (ANFs), piroxenos (PXs) y opacos (OPs), todos



inmersos en matriz de serpentina (spt), las fracturas del cristal de serpentina (spt) se encuentran rellenas por crisotilo (cst) que es una variedad de la serpentina misma.

## 5.2 MUESTRA: ACOB – 008



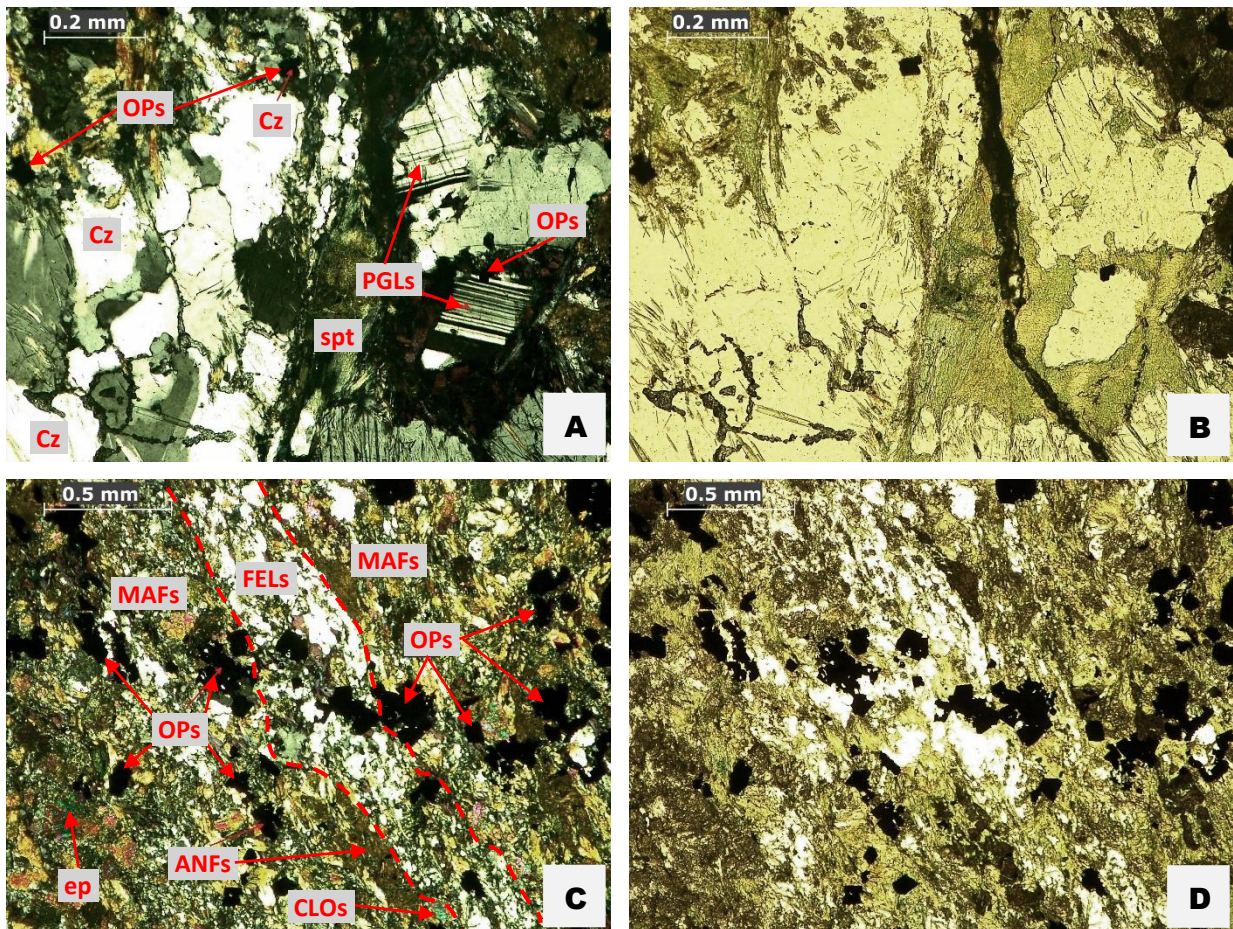
**Figura 51.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-008: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D)

En la figura 51 (A y B), se tiene presencia de serpentina (spt) con textura en malla en gran parte de la figura A y B, con 1.44 mm x 2.20 mm son las dimensiones de dicha textura, también se observa cristales alargados de anfíboles (ANFs) entre el enrejado de serpentina, con 0.10 mm x 0.32 mm en forma alargada, se aprecia mejor en la figura 46 - A. a sus alrededores observamos presencia de serpentinas anhedrales, todos con bordes en proceso de alteración, además se observa epidotas (ep), cloritas (CLOs) en abundancia. En la figura 46 (C y D), también tenemos serpentina (spt) deformada, producto de



distintos esfuerzos y procesos metamórficos, se observa alineación de cristales de anfíboles (ANFs) también deformados y alargados, con 0.14mm x 0.37 mm, también se aprecia cristales de epidota (ep), cloritas (CLOs) bastante pequeños distribuidos en gran parte de la muestra y puntualmente presencia de minerales OPs.

### 5.2.1 Muestra: ACOB – 010



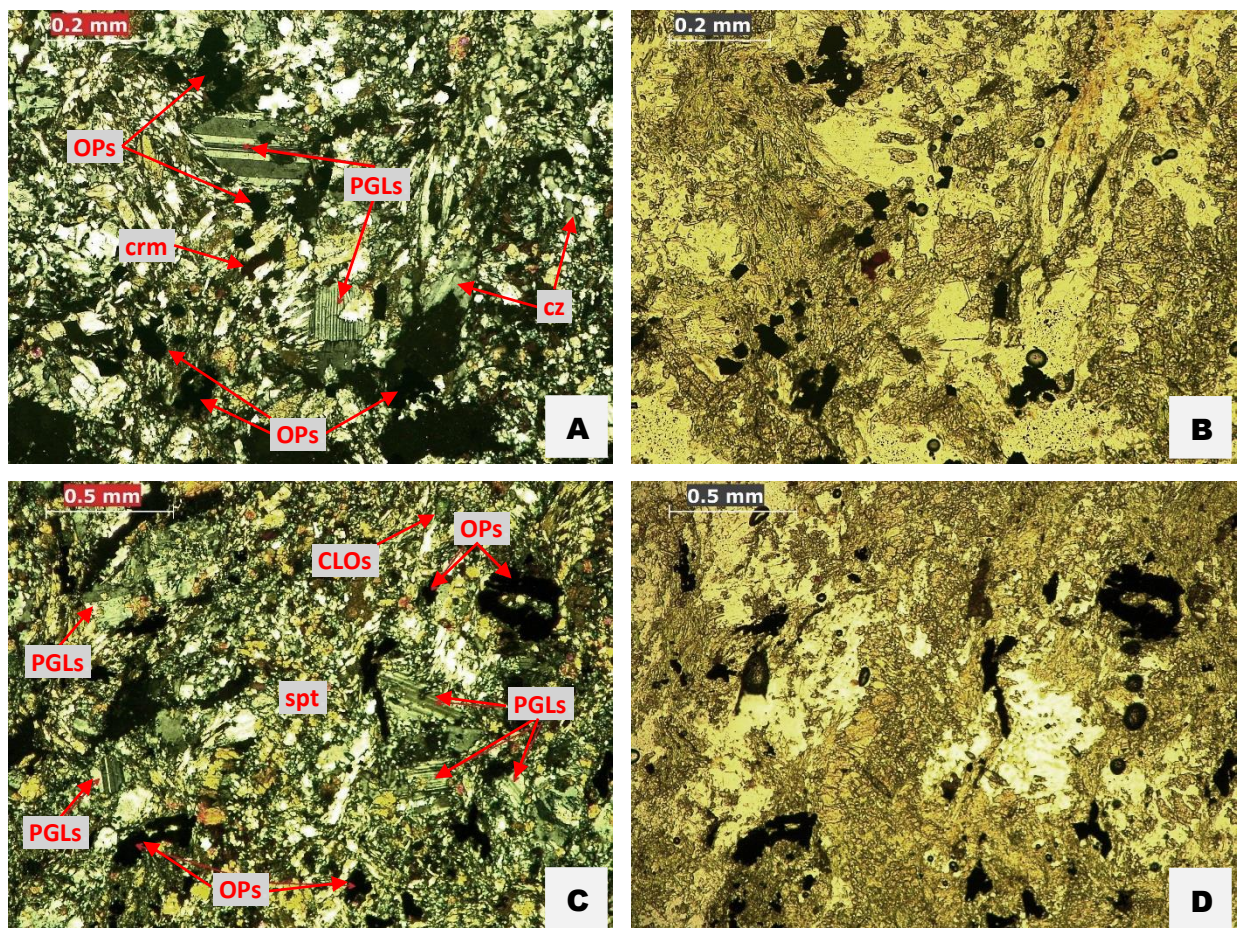
**Figura 52.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-010: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 10x (A y B) 5x (C y D)

En la figura 47 (A y B), se aprecia cristales anhedrales de cuarzo (cz) y cristales de plagioclasas cálcicas polisintéticas (PGLs), de 0.14 mm x 0.16 mm, se puede apreciar a mayor detalle en la figura 47 -A, rellenando los espacios tenemos minerales metamórficos ultramáficos, generalmente serpentinas (spt) y los de textura acicular son típicos de crisotilo (cst), también se evidencian cristales de minerales opacos (OPs)



anhedrales y subhedrales, de 0.01 mm x 0.03 mm en promedio, que posiblemente sea pirita por la forma de los cristales. En la figura 47 (C y D), se ve alineamiento (una venilla de cuarzo o félsicos (FELs)), dentro de minerales máficos - ultramáficos (MAFs) donde tenemos principalmente serpentina (spt), cloritas (CLOs) epidota (ep) algunos anfíboles (ANFs) y minerales opacos (OPs), con cierta alineación cruzando en forma de X a la anterior, los cristales opacos en su mayoría se encuentran en forma diseminada, también obedeciendo un cierto alineamiento, estos cristales son subhedrales de 0.12 mm x 0.12 mm.

### 5.2.2 Muestra: ACOB – 012



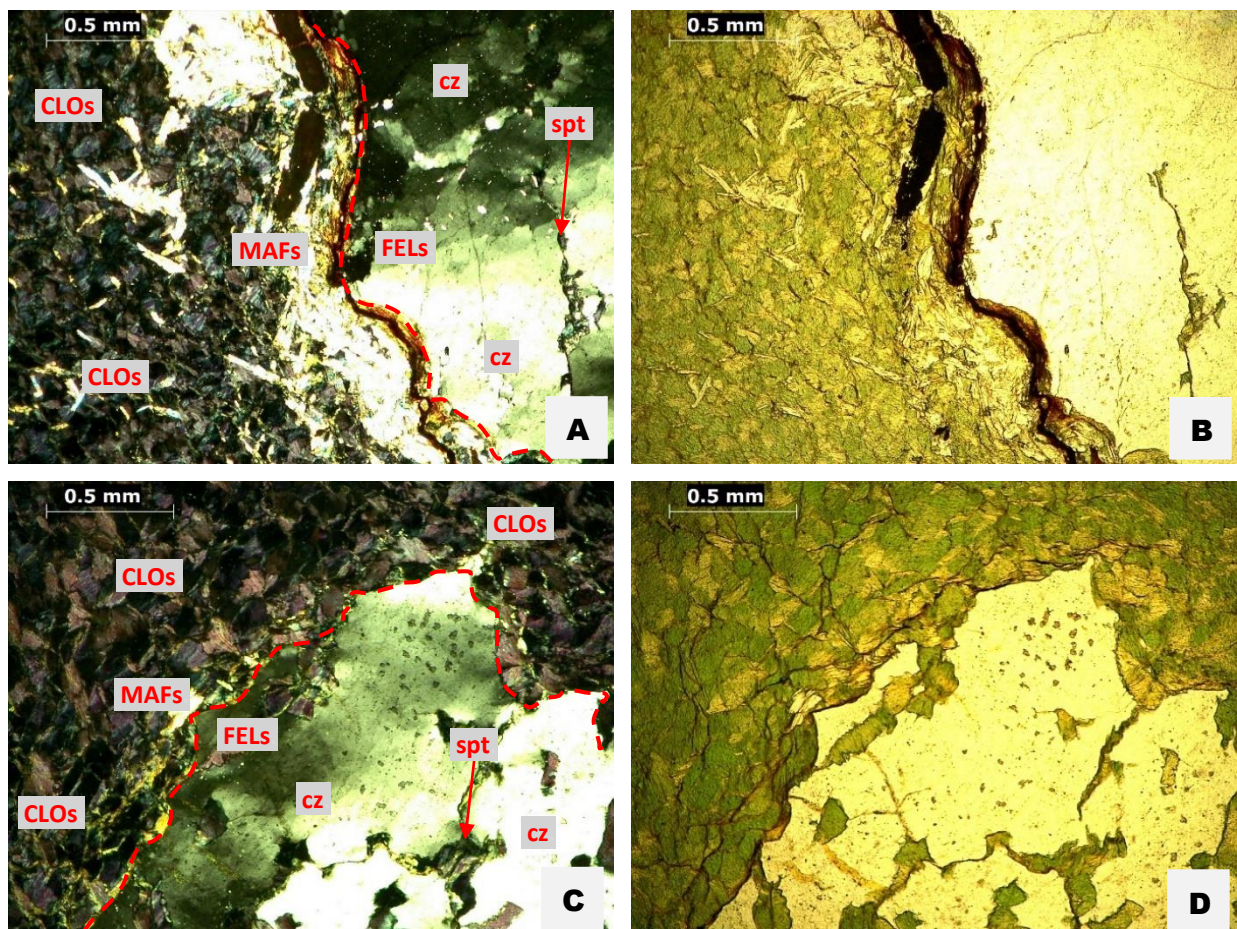
**Figura 53.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-012: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 10x (A y B) 5x (C y D).

En la figura 48 (A y B), se observa claramente cristales subhedrales de plagioclasas (PGLs) polisintéticas, de composición cálcica, de 0.21 mm x 0.12 mm con



los bordes deformados, se puede apreciar a mayor detalle en NX o en la figura 48 - A, también tenemos cristal anhedral de cromita (crm), ligeramente marrón oscuro, además presencia de epidota (ep), cloritas (CLOs), anfíboles (ANFs), biotitas (bt), cristales subhedrales de minerales opacos (OPs) y cristales de cuarzo (cz), todos ellos englobados en matriz de serpentinas (spt). En la figura 48 (C y D), vemos cristales anhedrales de plagioclasa (PGLs) polisintéticas de variedad cálcica igual que en la figura anterior A y B, dichos cristales tienen una dimensión de 0.21 mm x 0.32 mm, biotitas (bt), epidotas (ep), cloritas (CLOs), cristales anhedrales de minerales opacos (OPs), en matriz de serpentinas (spt).

### 5.2.3 Muestra: ACOB – 015



**Figura 54.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-015: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D)

En la figura 49 (A y B), claramente se aprecia contacto entre minerales máficos / ultramáficos (MAFs) y félsicos (FELs), conformada básicamente por cuarzo (cz), línea



de contacto en proceso de oxidación, se puede apreciar en NP o figura 49-B la presencia de minerales Opacos (OPs) anhedrales rellenando el espacio de contacto, entre los minerales ultramáfico tenemos, en general cloritas (CLOs) las que son de coloración lila en NX o figura 49-A, también se observa presencia de serpentina (spt) rellenando la fractura del cristal de cuarzo (cz), de igual forma se aprecia entre las cloritas (CLOs). En la figura 49 (C y D), similar a las figuras 49 A y B, es un contacto entre minerales máficos / ultramáficos (MAFs) y félsicos (FELs) este último básicamente conformada por cuarzo (cz) a diferencia de la anterior dentro del cuarzo (cz) se aprecia unos minerales máficos rellenando las fracturas o intercrecida dentro de ella.

#### 5.2.4 Muestra: ACOB – 004

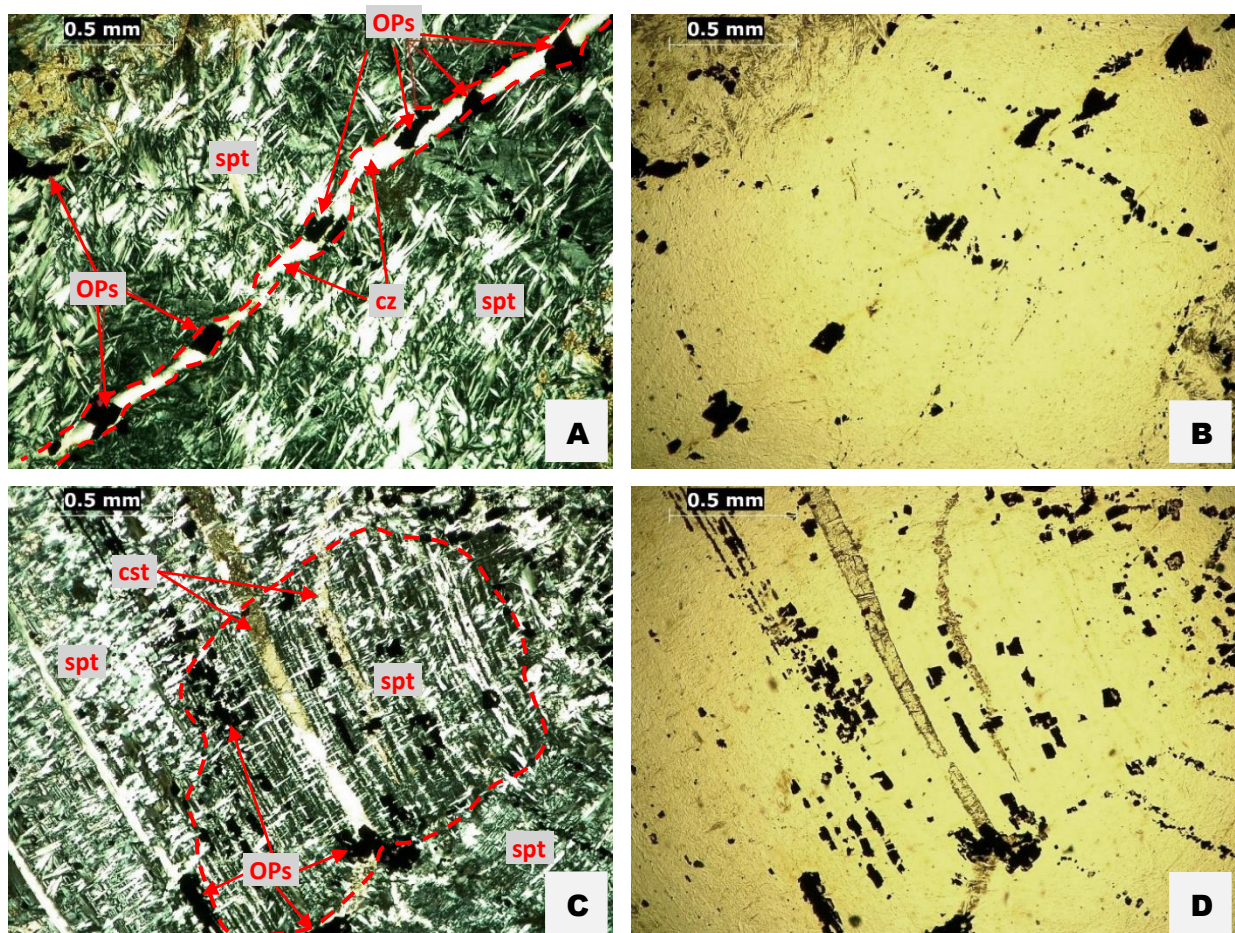


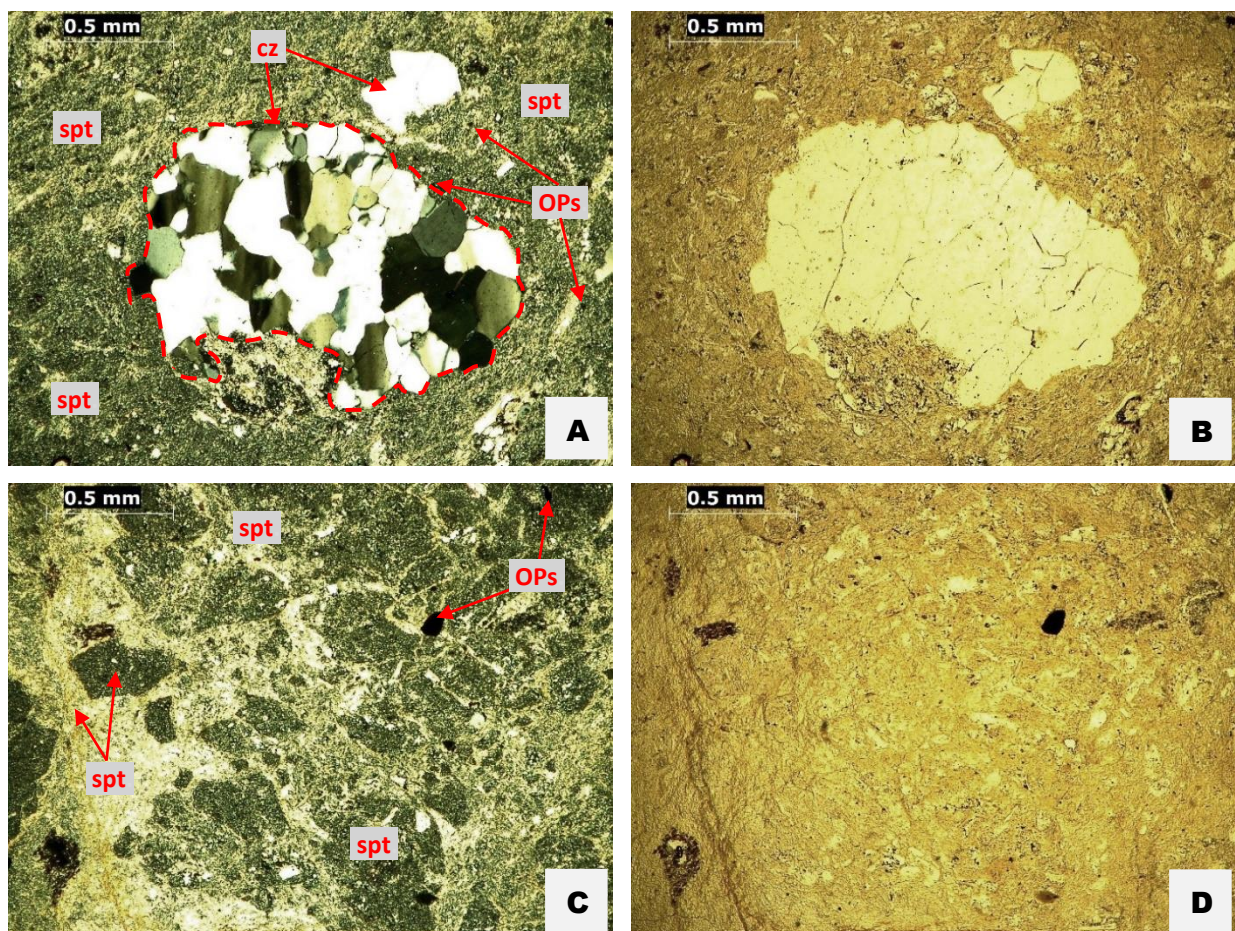
Figura 55. Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-004: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).

En la figura 50 (A y B), tenemos serpentina (spt) con textura en malla, interceptada por una venilla de cuarzo (cz) donde sistemáticamente se ve presencia de minerales



Opacos (OPs) en formas subhedrales alargados, se aprecia mejor en NP o figura 50-B, estos cristales de minerales opacos tienen una dimensión de 0.09 mm x 1.60 mm, en promedio, de igual manera existe cierto alineamiento de minerales opacos perpendicular a la venilla principal, pero son más pequeños. En la figura 50 (C y D), Porfidoblasto de serpentina con 0.08 mm x 0.72 mm de dimensiones aproximadamente, en matriz de serpentina de textura en malla, de igual manera presencia de minerales Opacos (OPs) de forma subhedral, siguiendo una orientación específica aprovechando los contactos, según la textura en malla de la serpentina, se evidencia también dos venillas rellenas por crisotilo (cst).

### 5.2.5 Muestra: ACOB – 005

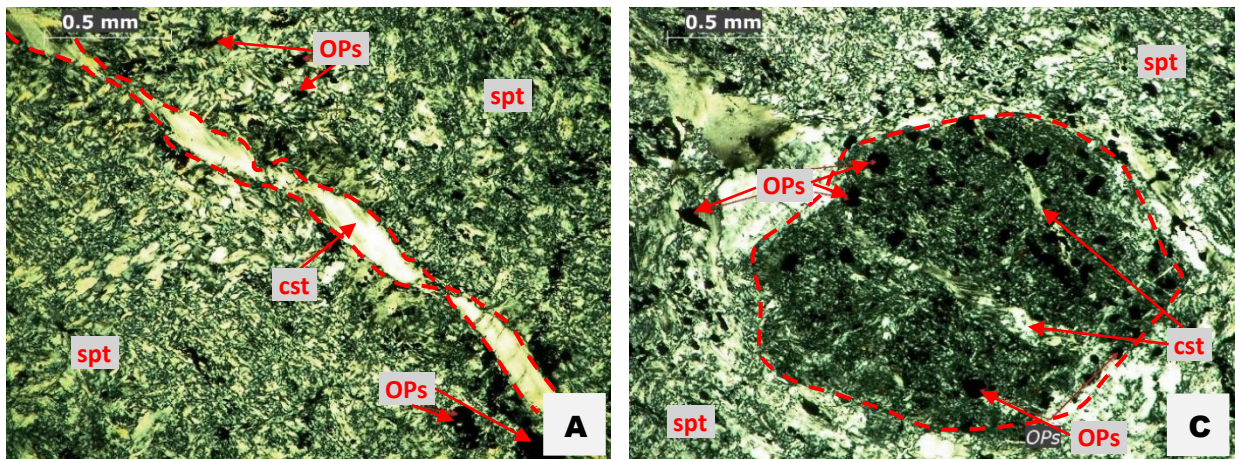


**Figura 56.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-005: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).

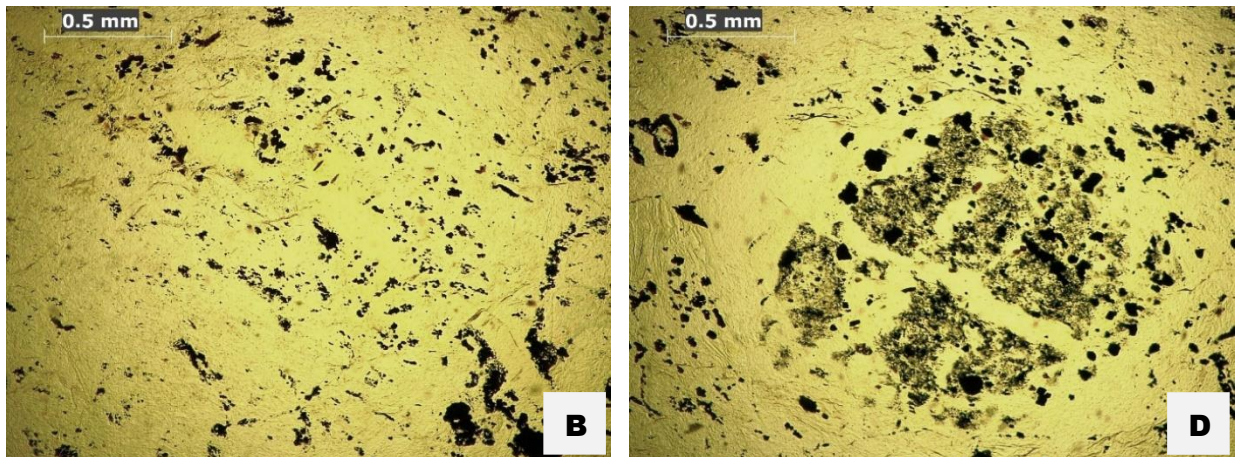


En la figura 51 (A y B), se observa un porfidoclasto de cuarzo (cz) fracturado, de 1.60 mm x 1.00 mm de dimensiones, inmerso en matriz de serpentina (spt), se aprecia también micro cristales de minerales Opacos (OPs) cuyas dimensiones aproximadas son 0.02 mm x 0.03 mm, dentro del cristal de cuarzo, de igual manera hay minerales opacos (OPs) relleno de las pequeñas fracturas de dicho cristal, además se observa estos minerales en la matriz de forma diseminada. En la figura 51 (C y D), tenemos una típica brecha monomítica con clastos angulosos de serpentina (spt) en matriz de serpentina, esta va alterando incipientemente a los clastos, en la zona izquierda de la imagen se aprecia mayor cantidad de matriz y a la derecha se aprecia los clastos más próximos y apenas en venillas la matriz, se puede ver también minerales opacos (OPs) anhedrales, de 0.12 mm x 0.07 mm muy esporádicamente y en forma diseminada, estos cristales opacos se aprecian mejor en NP o figura 51-D.

### 5.2.6 Muestra: ACOB – 011





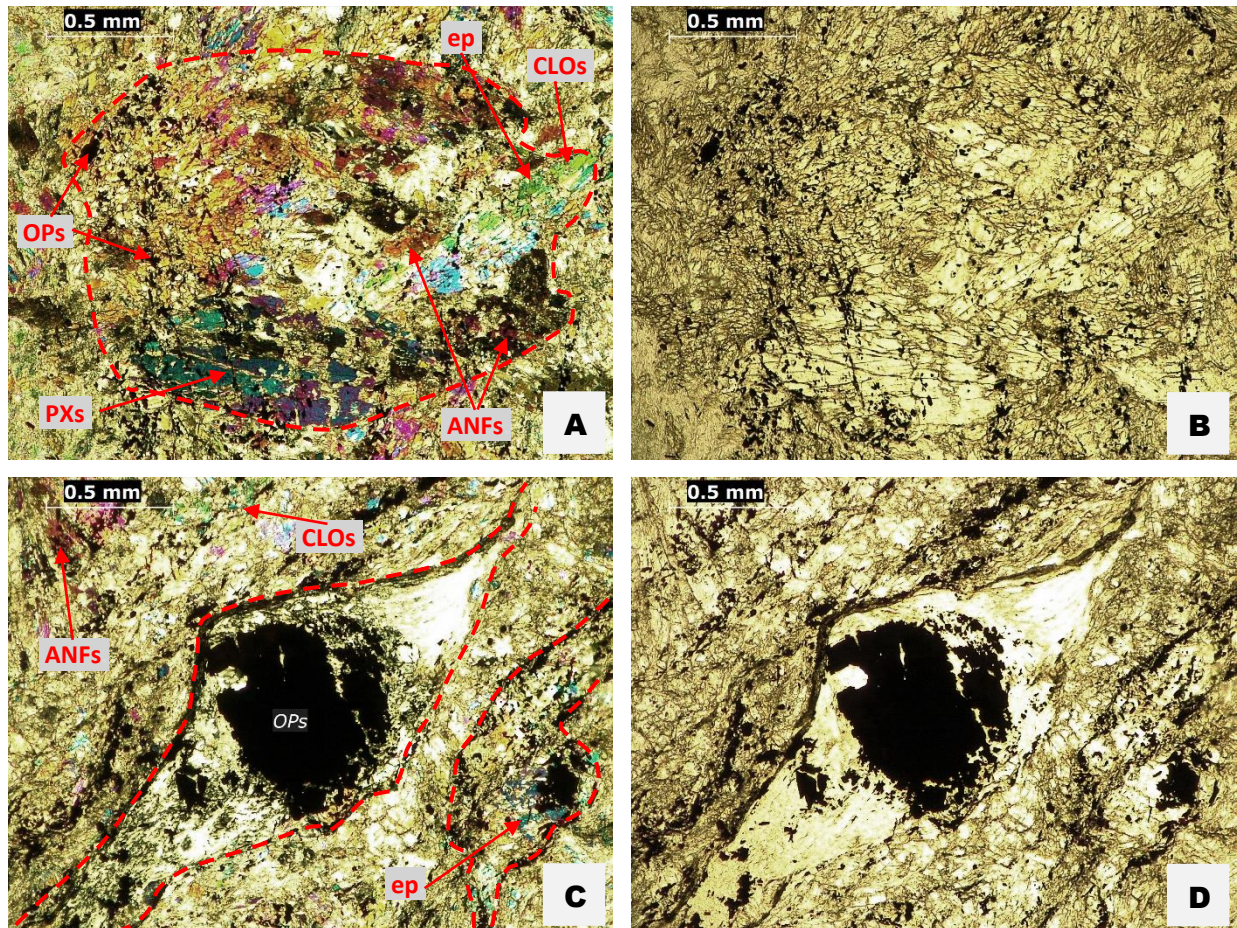


*Figura 57. Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-011: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D)*

En la figura 52 (A y B), se aprecia una estructura de crisotilo (cst) en forma de rosario, lenticular o budding producto de esfuerzos que actuaron en la deformación de dichos afloramientos, las dimensiones de una lente son, aproximadamente 0.65 mm x 0.15 mm de igual manera se aprecia minerales Opacos (OPs) con cristales de 0.13 mm x 0.08 mm, en forma diseminada con cierta orientación y algunos rellenando pequeñas fracturas, todo esto se encuentra dentro de una matriz de serpentina (spt) de textura enrejada, además esta se encuentra deformada. En la figura 52 (C y D), se observa un porfidoclasto de serpentina (spt), esta se presenta en forma hexagonal pero bastante alterado, posiblemente sean relictos de ¿olivinos? (olv), cuyas dimensiones son 1.77 mm x 1.36 mm recortada por venillas de crisotilo (cst), a su alrededor en forma circular se presentan gran concentración de los minerales opacos (OPs) anhedrales y subhedrales de manera diseminada, con medidas de 0.05 mm x 0.06 mm dicha concentración se aprecia con mayor claridad en NP o figura 52-D.

### **5.2.7 Muestra: ACOB – 014**





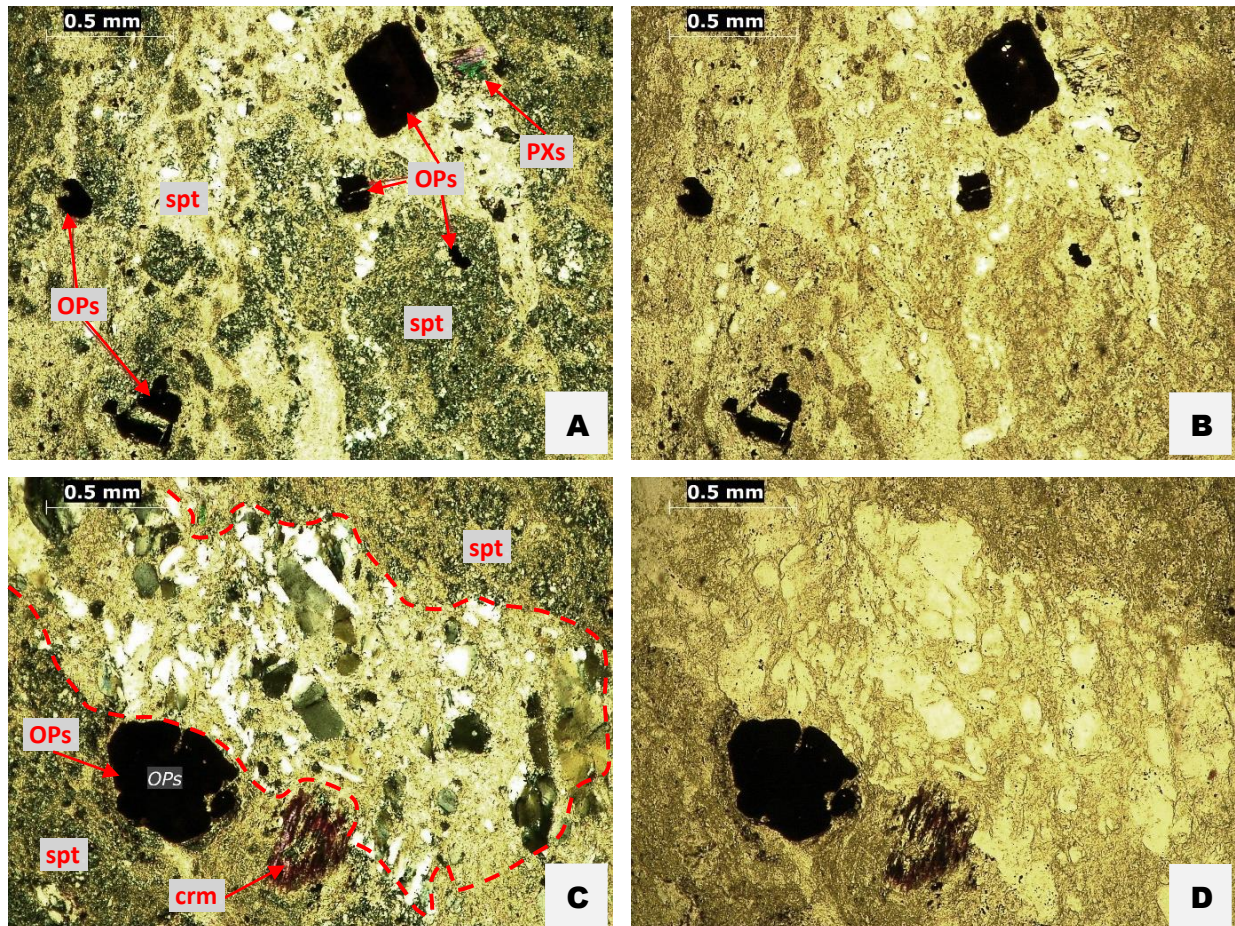
**Figura 58.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-014: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).

En la figura 53 (A y B), apreciamos un porfidoclasto de anfíboles (ANFs), y piroxenos (PXs) de aproximadamente 2.34 mm x 1.63 mm, acompañada de minerales como epidota (ep), clorita (CLOs), minerales Opacos (OPs), en forma diseminada en toda la muestra, presencia de arcillas (ARCs) dentro de una matriz básicamente constituida por serpentina (spt) casi en su totalidad. En la figura 53 (C y D), tenemos presencia de una textura no pseudomorfa (ribbon) con clasto de mineral opaco (OPs) cuyas dimensiones son 0.67 mm x 0.77 mm y las dimensiones de la textura ribbon 0.90 mm x 2.13 mm, conformado por principales minerales ultramáficos, como anfíboles (ANFs), piroxenos (PXs), epidotas (ep) cloritas (CLOs), que son típicas de rocas ultramáficos, además se aprecia presencia de arcillas (ARCs) y minerales Opacos (OPs) de menor



dimensión en forma diseminada, todos estos se encuentran englobados por serpentinas (spt), en forma de matriz.

### 5.2.8 Muestra: ACOB – 006



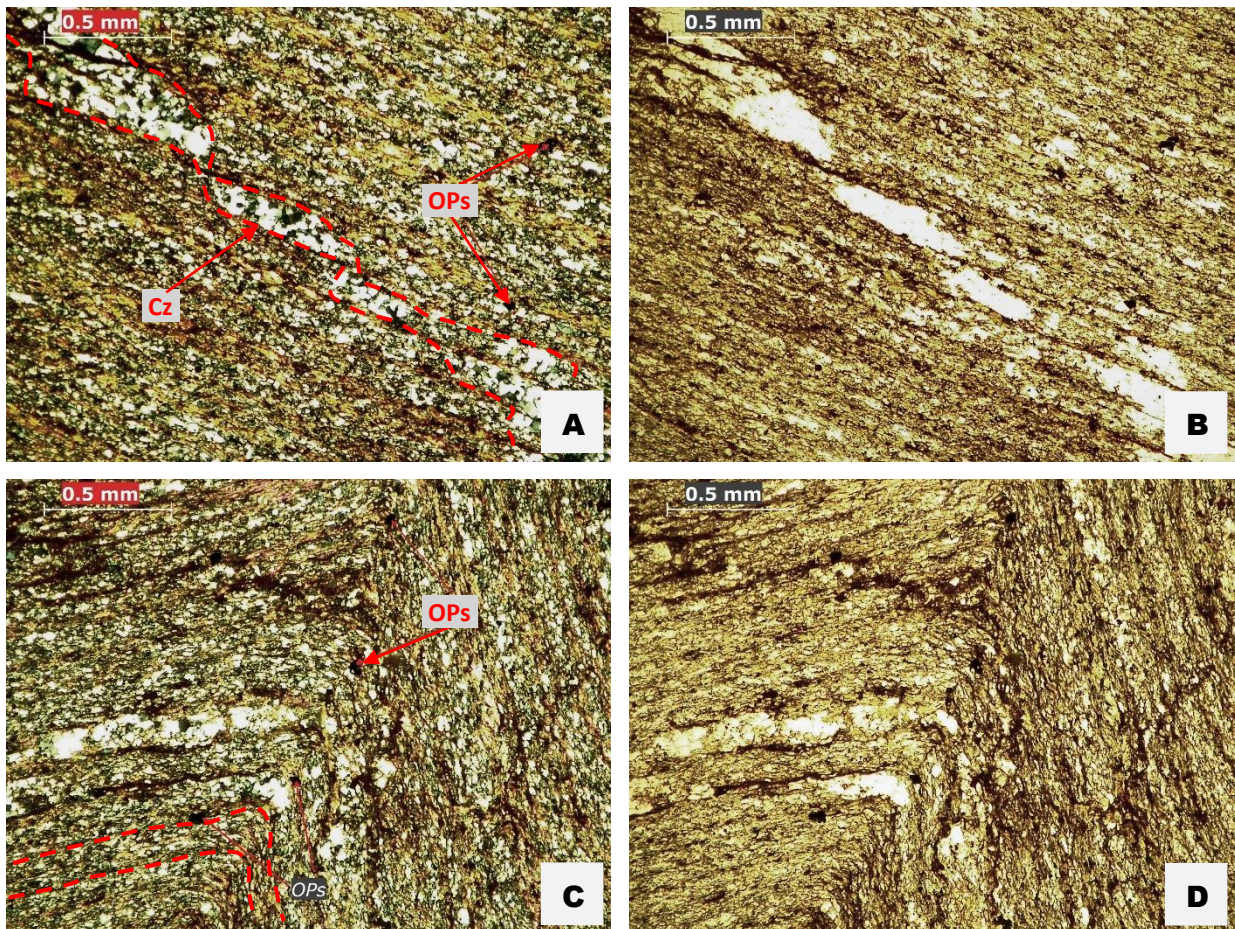
**Figura 59.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-006: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A-D).

En la figura 59 (A y B), observamos brecha monomítica, con clastos subangulosos de serpentinitas, en matriz de la misma composición de serpentinas con mayor silicificación donde se aprecia minerales opacos (OPs) subhedrales de diferentes tamaños, desde diámetros de 0.24 mm x 0.30 mm hasta 0.01 mm x 0.02 mm en forma diseminada y minerales ferromagnesianos, como anfíboles (ANFs) piroxenos (PXS) y otros característicos<sup>3</sup> del grupo de los máficos. En la figura 54 (C y D), también tenemos brecha de características similares al anterior, con presencia de un cristal de mineral opaco que aun guarda su forma hexagonal,



cuyas dimensiones son de 0.40 mm x 0.50 mm con bordes alterados y rastros de ¿cromita? (crm) cristal de coloración marrón, se puede apreciar mejor en la figura 54 - C, la brecha es monomítica con clastos de serpentina (spt), dentro de una matriz bastante silisificadas y serpentinizadas.

### 5.2.9 Muestra: ACOB – 013



**Figura 60.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-013: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D)

En la figura 60 (A y B), tenemos una típica filonita, se puede observar una estructura escalonada de cuarzo (cz) lo podemos apreciar mejor en NP o figura 55-B, y en toda la muestra se observa intercalación de minerales máficos y minerales félsicos, dentro de ellas también unos microcristales de minerales opacos (OPs), en forma diseminada y generalmente entre los contactos de los minerales máficos y félsicos. estos

cristales tienen en promedio 0.05 mm x 0.04 mm, son microcristales difíciles de reconocer a la lupa. En la figura 55 (C y D), vemos microplegamientos en capas intercaladas de minerales máficos y ácidos, algo en particular es la concentración de minerales opacos (OPs) a lo largo de la zona más deformada o charnela del microplegamiento, se observa también microfallas desplazando cierta distancia el comportamiento es igual que una falla a nivel macroscópico e incluso regional. Los minerales opacos están en forma diseminada y tienen una dimensión aproximada de 0.06 mm x 0.05 mm, cristalizados en las zonas más deformadas o debilitadas.

- **Determinación de la norma CIPWs**

Análisis modal de ACOB-007, muestra tomada del afloramiento N° 2, donde se realiza una estimación visual de los principales minerales y tenemos los siguientes (ver tabla 6)

**Tabla 6**

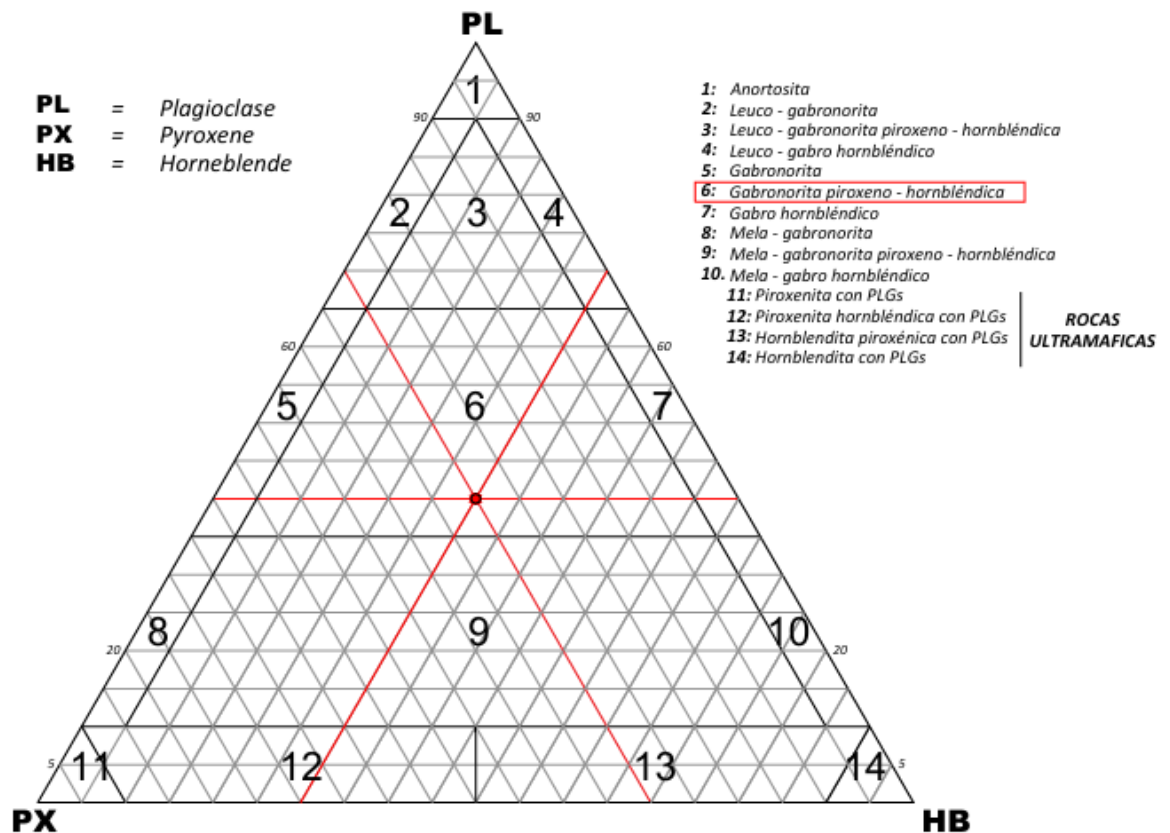
*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-007.*

N°	GRUPO	MINERAL	ESTIMACIÓN VISUAL	ANÁLISIS MODAL
1	Plagioclasa (PL)	Anortita	20	40%
2	Piroxenos (PX)	Augita, hiperstena.	15	30%
3	Anfiboles (HB)	Actinolita. hornblenda	15	30%
4	Accesorios	Cuarzo, cloritas, epidotas, serpentinas, minerales opacos y otros.	50	



**Figura 61**

Diagrama PL-Px-Hb, campo 6, Gabronorita piroxeno – hornblendico.



Según el análisis modal, insertamos los datos al diagrama PL-PX-HB, donde el punto planteado nos da como resultado en el campo N° 6 (ver figura 56) que corresponde a una Gabronorita piroxeno – hornblendico, lo que nos indica que son principalmente gabros, piroxenitas y anfibolitas las que predominan los macizos ultramáficos de la zona de Acobamba.

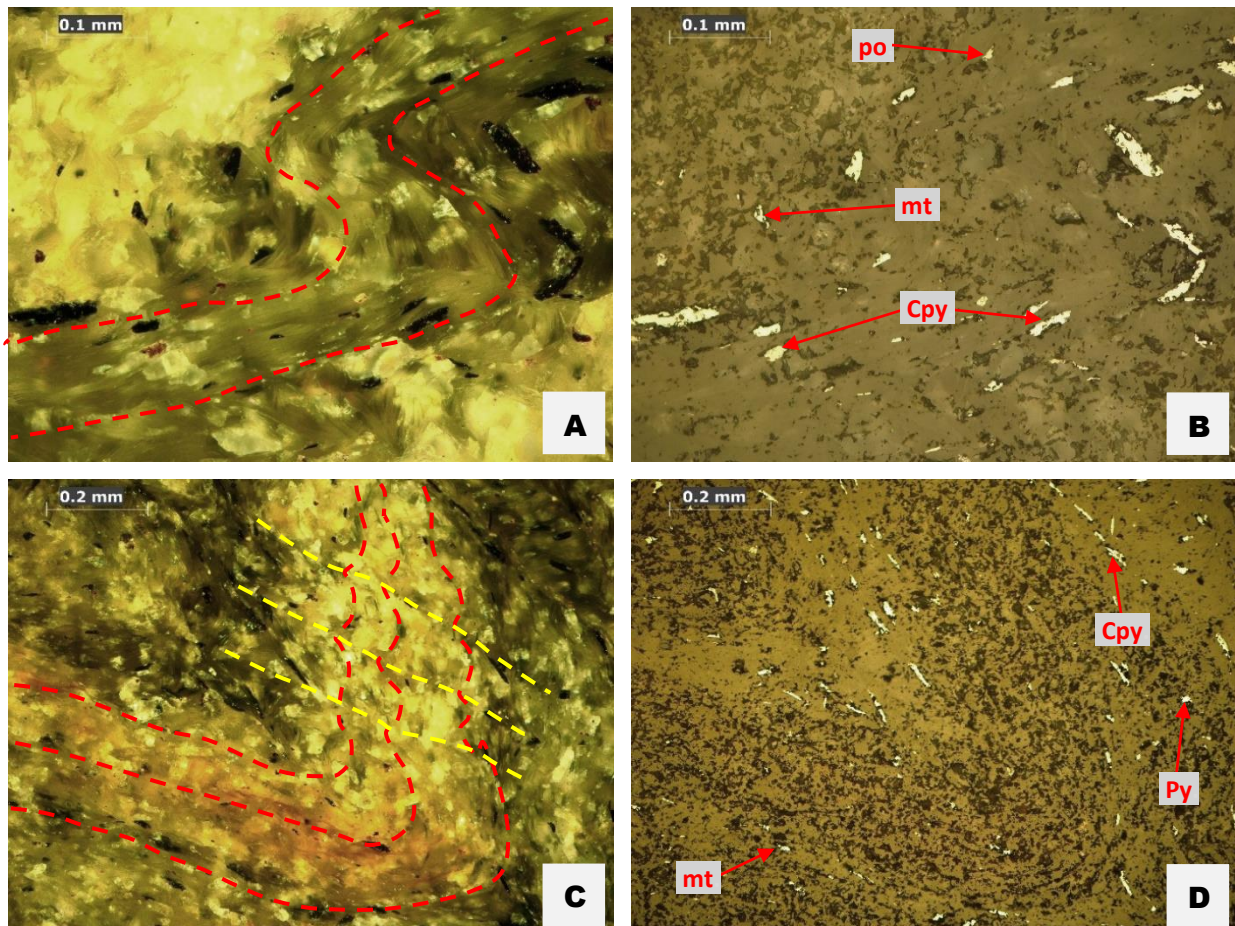
Según los análisis químicos de DRX y FRX, se realizó ensayo para OL, CPX, y OPX, y OL, PX y HB el cual no dio resultados esperados, por lo tanto, se optó usar el diagrama triangular. PL, PX Y HB, donde una vez planteado nos cae dentro del campo 6, teniendo minerales como piroxenos, anfíboles y plagioclasas, los cuales concuerdan con la petrografía descrita anteriormente, realizado en la muestra ACOB-007. Sin embargo, no se descarta la existencia de peridotitas y que estos hayan sufrido un proceso de serpentización; la ausencia clara de olivinos no permite afirmar o descartar dicha teoría



y básicamente porque las serpentinas también se presentan como arcillas, puede originarse por alteración meteórica o hidrotermal de las plagioclasas principalmente.

### 5.3 MINERAGRAFÍA Y PARAGÉNESIS

#### 5.3.1 Muestra: ACOB – 009



**Figura 62.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-009: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 20x (A y B), 10x (C y D).

En la figura (A y B), podemos ver cristales de calcopirita (cp), anhedrales, algunos se encuentran deformados, también se observa microplegamientos, con presencia de cristales de bornita (bn) el amarillento rosáceo, núcleos de pirrotita (po), también se evidencia magnetita (mt) en forma diseminada siguiendo los alineamientos de deformación (microplegamientos). En la figura 57 (C y D), también se evidencia microplegamiento con cristales de pirita (py) diseminado, calcopirita (cp) tabulares



diseminados, pirrotita (po) y manchas rojizas producto de la oxidación, principalmente hematita (hm), y magnetita (mt).

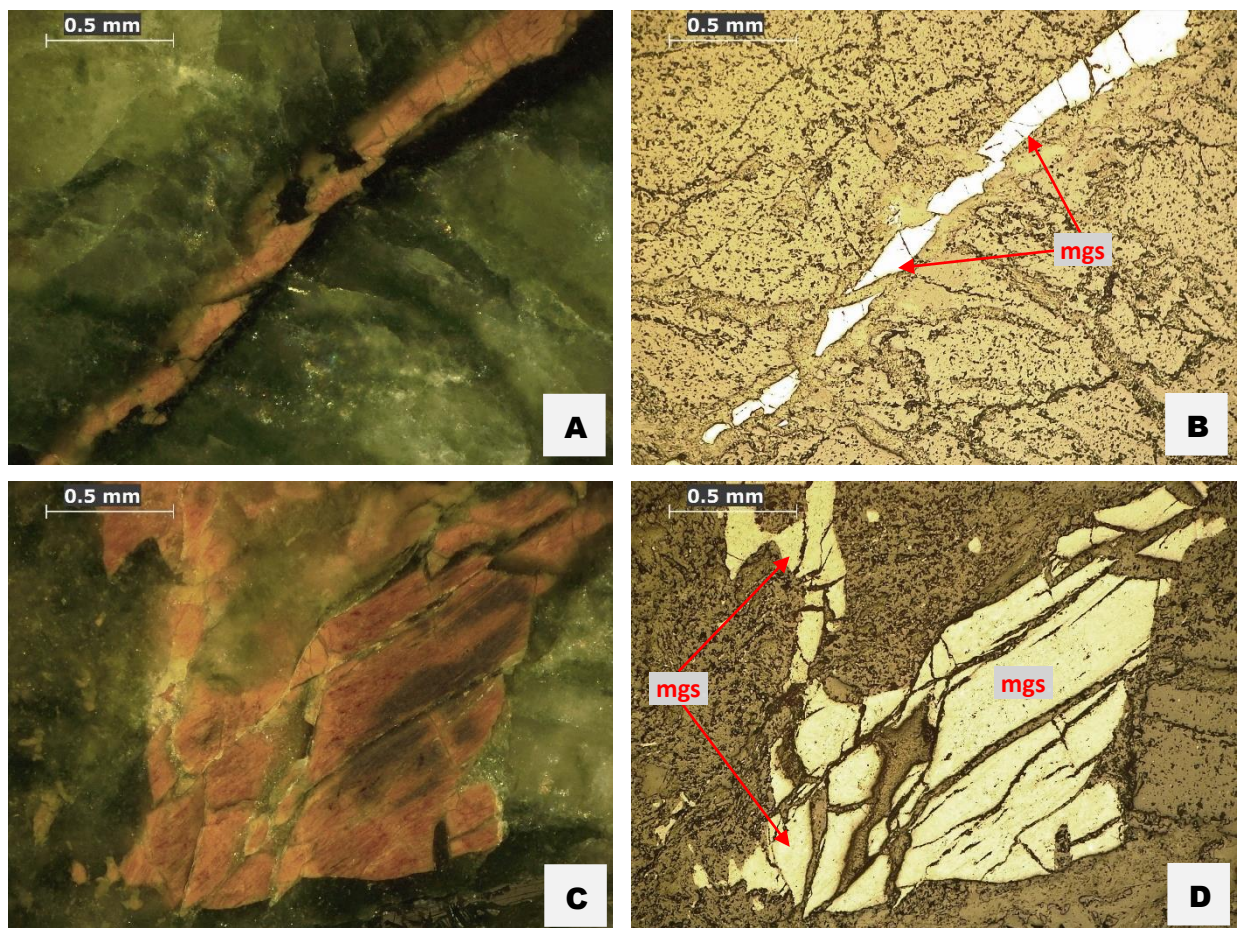
### Tabla 7

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-009*

Pirita	2.0 %
Calcopirita	1.0 %
Bornita	0.5 %
Pirrotita	0.5 %
Magnetita	1.0 %
Hematita	1.0 %
Translucidos	94.0 %
Total	100.0 %

- **AFLORAMIENTO 2**

#### 5.3.2 Muestra: ACOB – 001



**Figura 63.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-001: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A - D).

En la figura (A y B), se evidencia una fractura rellena por magnesita (mgs) básicamente en matriz de serpentinas (spt), con presencia de crisotilo (cst) relleno las

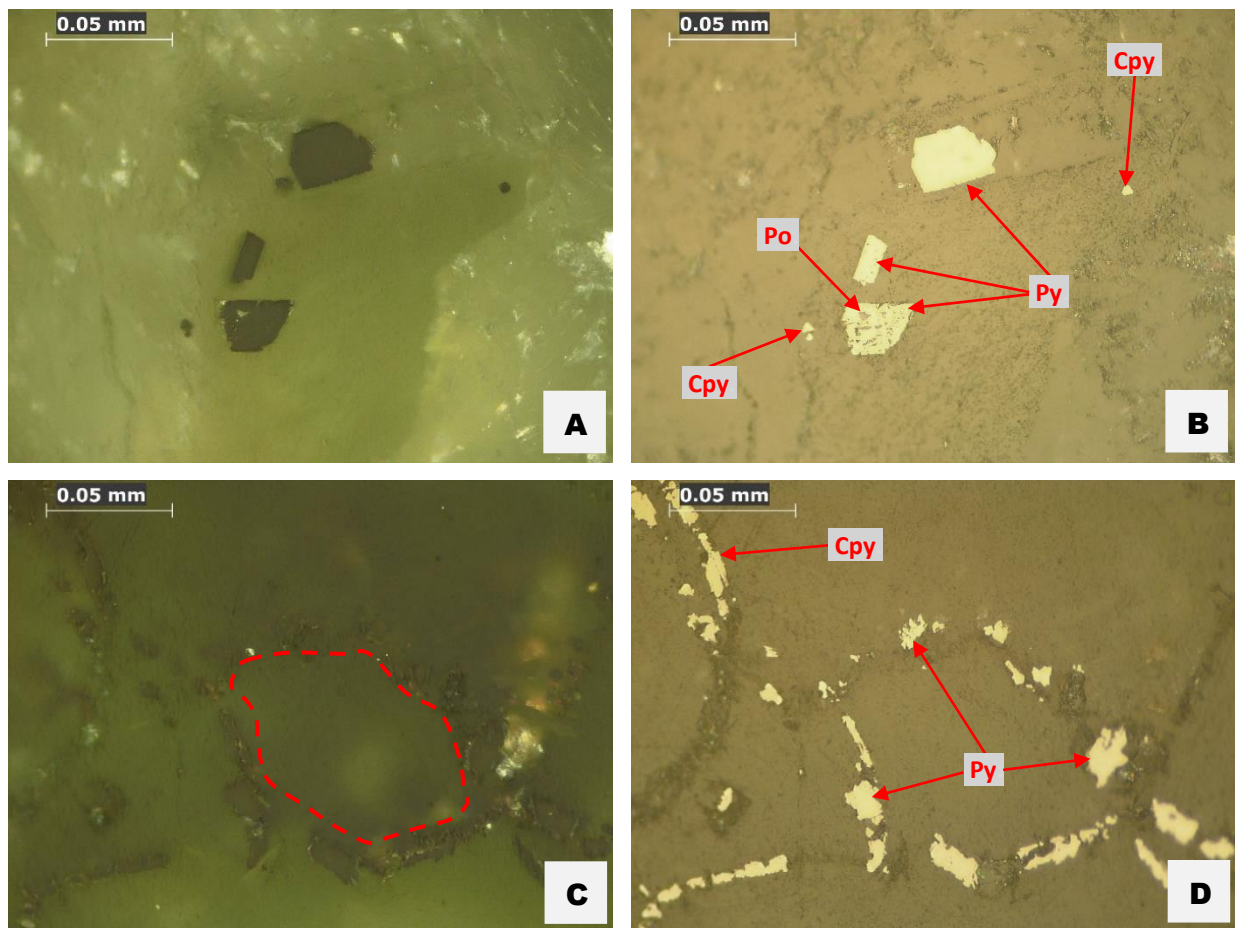
fracturas dentro de la serpentina, además dentro de la magnesita, también se presenta microcristales de ¿Óxidos de hierro?, que son visible al 50x en forma de minerales opacos (OPs). En la figura 58 (C y D), al igual que en la figura anterior tenemos presencia de magnesita (mgs), fracturada y de bordes bastante alterados, dichas fracturas están rellenas básicamente por serpentinas (spt).

**Tabla 8**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-001*

Magnesita	3.0 %
Hematita	0.5 %
Translucidos	96.5%
Total	100 %

### 5.3.3 Muestra: ACOB – 002



**Figura 64.** Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-002: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D)





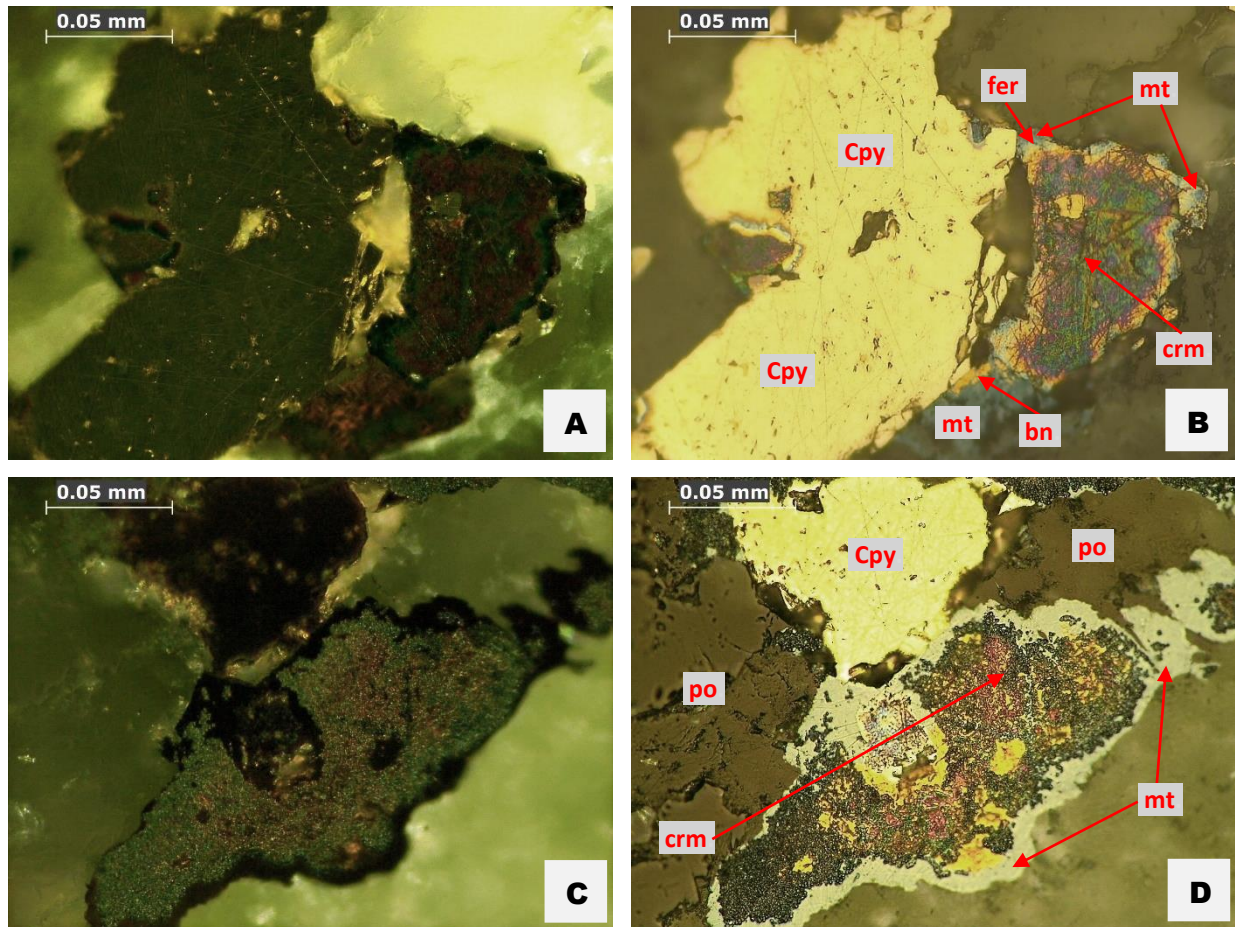
En la figura 59 (A y B), tenemos cristales subhedrales de pirita (py) de los 3, el cristal inferior presenta inclusiones de ¿pirrotita? (po) lo que va generando también una alteración a los bordes del cristal de pirita, así como también de la pirrotita, también se aprecia magnetita (mt) en forma diseminada y en ocasiones rellenando microfracturas, este último mineral difícil de identificar en aumentos inferiores incluso en 50x . En la figura 59 (C y D), observamos cristales de pirita (py) distribuido en zona de fracturamiento o contacto, de igual manera se ve cristales de calcopirita (cpy) en forma diseminada, en zonas de intersección de las serpentinitas.

**Tabla 9**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-002*

Pirita	2.0 %
Pirrotita	0.5 %
Magnetita	1.0 %
Calcopirita	0.5 %
Translucidos	96.0 %
Total	100.0 %

**5.3.4 Muestra: ACOB – 003**



**Figura 65.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-003: NX (A y C), NP (B y D). Objetiva 50x (A - D).

En la figura (A y B), podemos observar la cromita (crm), con halos de alteración a magnetita (mt) junto a cristal de calcopirita (cpy), también se aprecia rastros de un cristal color naranja, ¿bornita? (bn). En la figura 60 (C y D), observamos relictos de cromita (crm), gran parte alterado a magnetita (mt), entre ambos minerales tenemos ferritcromita (fer) una especie de transición entre la cromita y magnetita, también se observa cristal

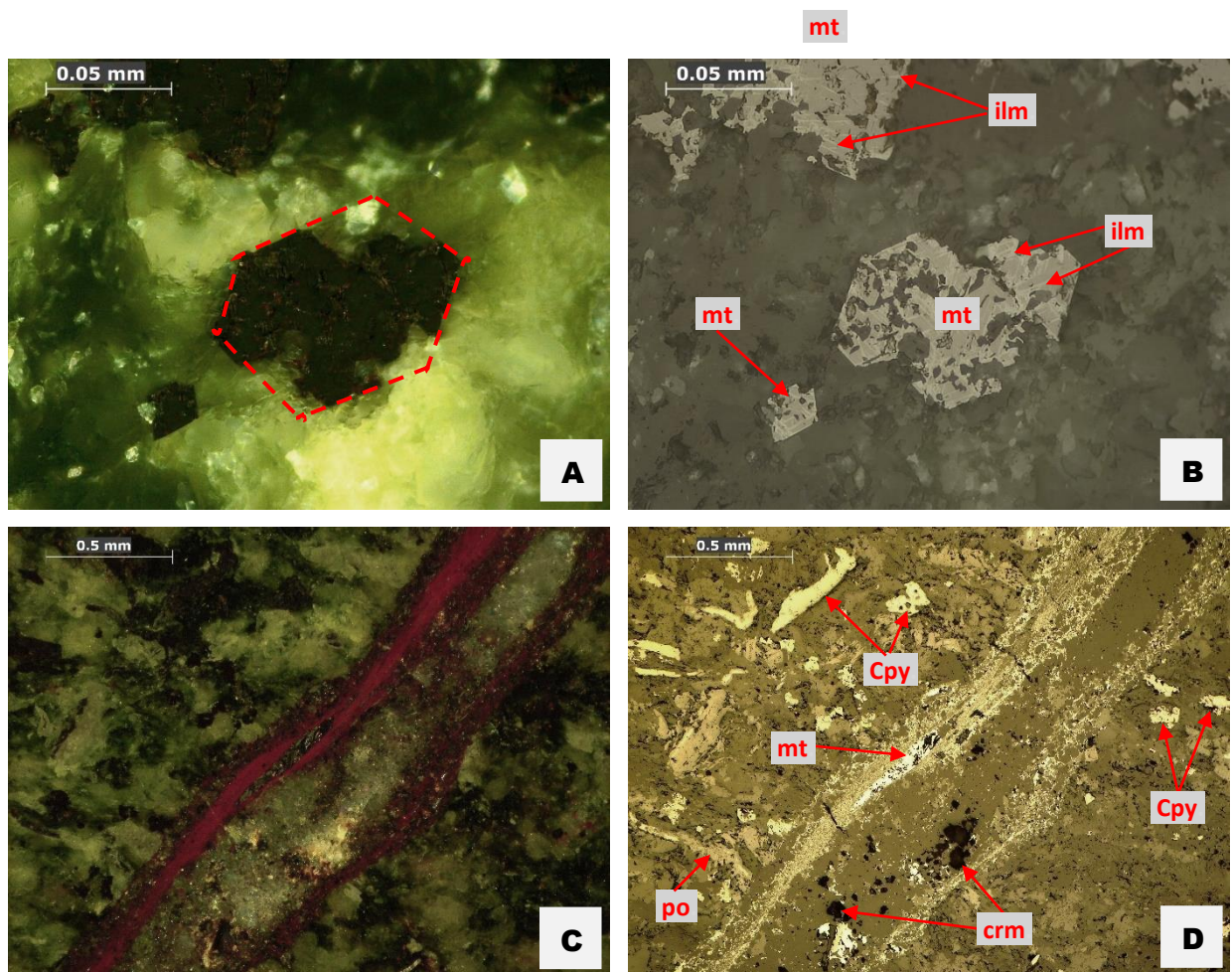
anhedral de calcopirita (Cpy) y en dos zonas bien definidas ¿pirrotita? (po), todo ello en matriz de serpentina (spt).

**Tabla 10**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-003*

Cromita	1.0 %
Magnetita	3.0 %
Pirita	2.0 %
Calcopirita	0.5 %
Bornita	0.5 %
Ferritcromita	0.5 %
Pirrotita	0.5 %
Translucidos	92.0 %
Total	100.0 %

### 5.3.5 Muestra: ACOB – 007



**Figura 66.** Fotomicrografías mineralógicas de la muestra ACOB-007: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A y B), 5x (C y D)

En la figura (A y B), cristal de magnetita (mt) de textura esquelética, sin embargo, se conserva el cristal inicial, y este cristal no se encuentra deformada, las partes débiles



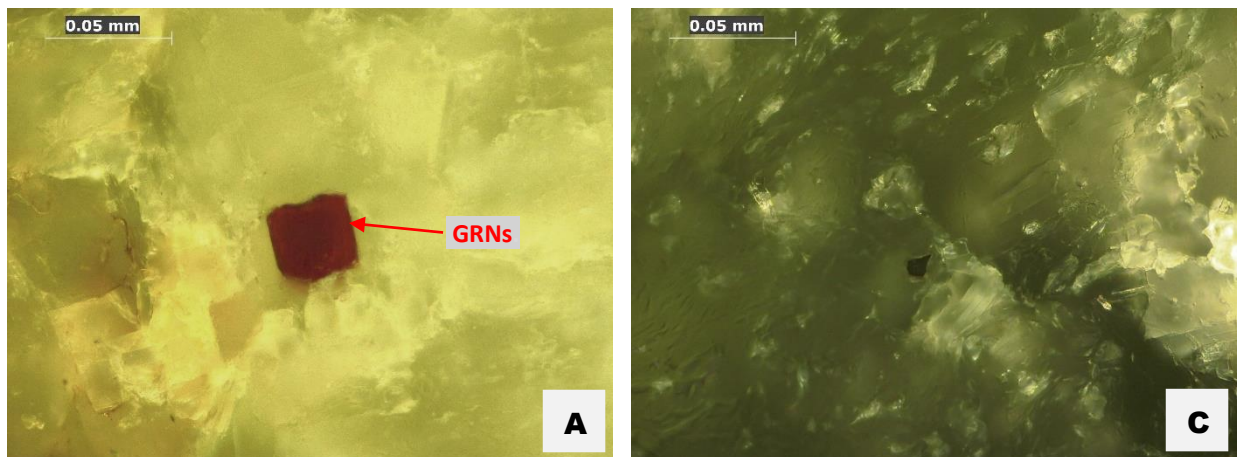
se van alterando a ilmenita (ilm), en matriz de serpentina (spt). En la figura 61 (C y D), venilla de cuarzo (cz) y magnetita (mt) principalmente, también dentro de esa venilla se puede apreciar bastante hematita (mt), pequeños cristales color marrón aparentemente son ¿cromitas? (crm), fuera de la venilla se puede observar cristales de calcopirita (cp), cristal de pirita (py) y rastros de ¿pirrotita? (po) en forma diseminada la presencia de estos son microcristales, en masa de serpentina (spt).

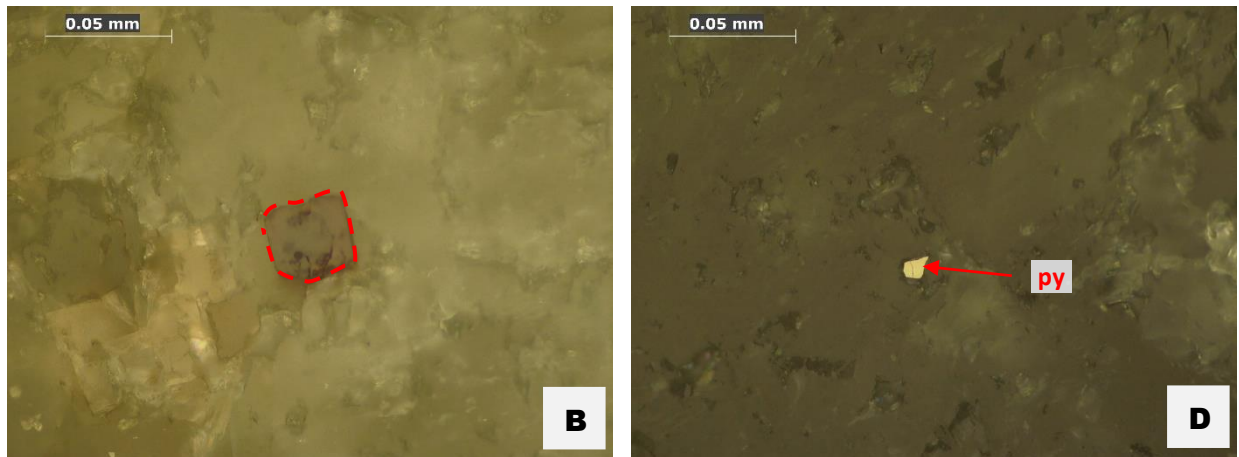
**Tabla 11**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-007*

Calcopirita	1.0 %
Pirita	1.5 %
Pirrotita	0.5 %
Cromita	0.5 %
Magnetita	4.0 %
Ilmenita	1.0 %
Hematita	0.5 %
Translucidos	91.0 %
Total	100.0 %

### 5.3.6 Muestra: ACOB – 008





**Figura 67.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-008: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).

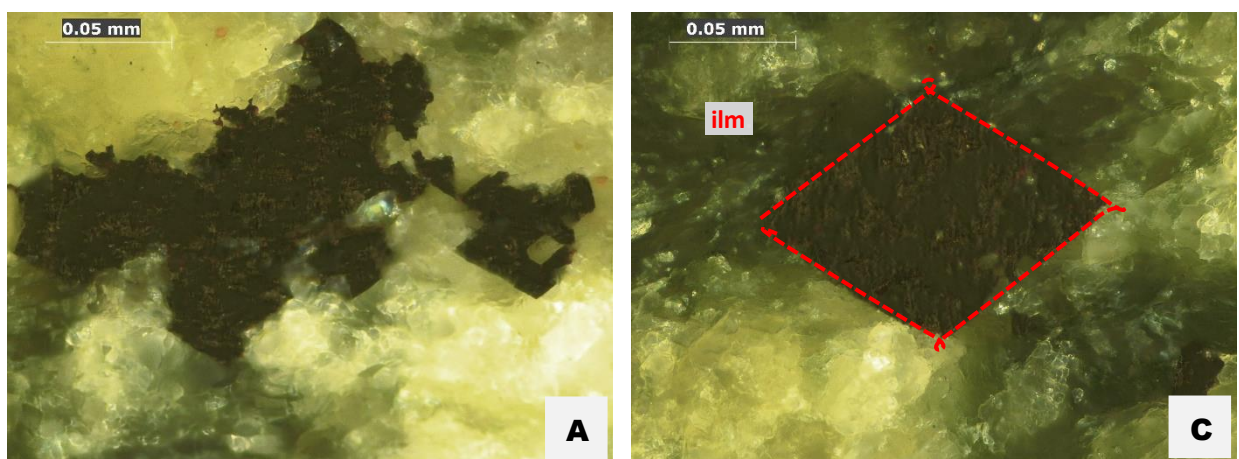
En la figura (A y B), se observa un cristal euhedral de granate (GRNs) de 0.04 mm de longitud, posiblemente (piropo o almandino) en medio de serpentina (spt) posiblemente de la variedad de antigorita (atg) o lizardita (lz). En la figura 62 (C y D), podemos ver un cristal de 0.01mm de longitud, de ¿pirita? (py) subhedral, aparentemente deformado por esfuerzos sin alteración a los bordes y con una micro fractura dividiendo en dos el cristal.

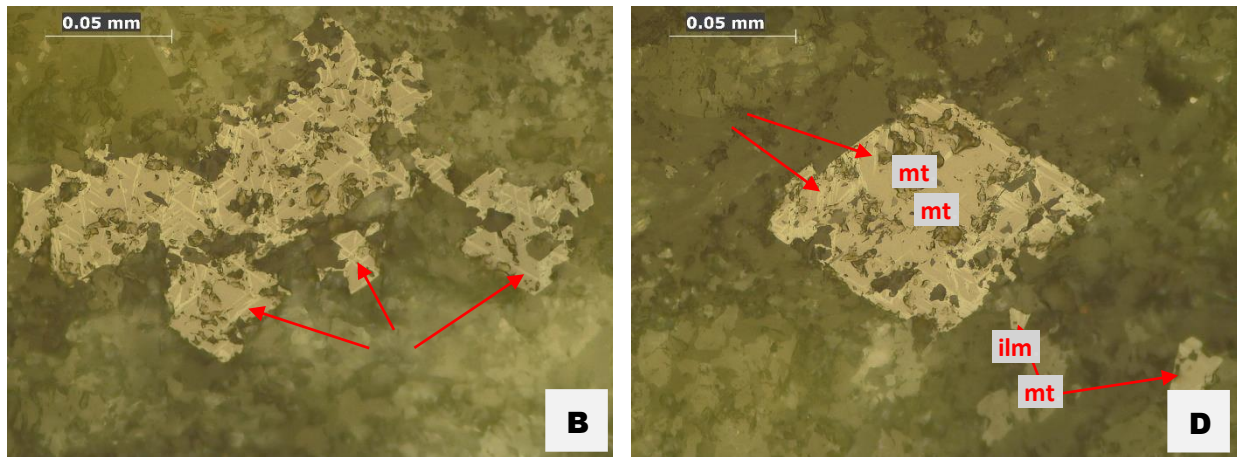
**Tabla 12**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-008*

Pirita	0.5 %
Granate	0.5 %
Translucidos	99.0 %
Total	100.0 %

### 5.3.7 Muestra: ACOB – 010





**Figura 68.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-010: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).

En la figura (A y B), se aprecia cristales anhedrales de magnetita (mt), con lamelas en forma alargada de ilmenita (ilm), las lamelas muestran la típica partición octaédrica de las espinelas, se ve también ¿pentlandita? (pnt) en venilla muy pequeños que se hace difícil de identificarlo con certeza, todo ello en matriz de cuarzo (cz) y serpentina (spt). En la figura 63 (C y D), Cristal euhedral de magnetita (mt), dentro de este cristal se observa con claridad las lamelas de ilmenita (ilm), principalmente a los bordes del cristal de magnetita, se aprecia mejor en NP o figura 63-D, dicho cristal se encuentra en matriz de cuarzo (cz) y serpentinas (spt).

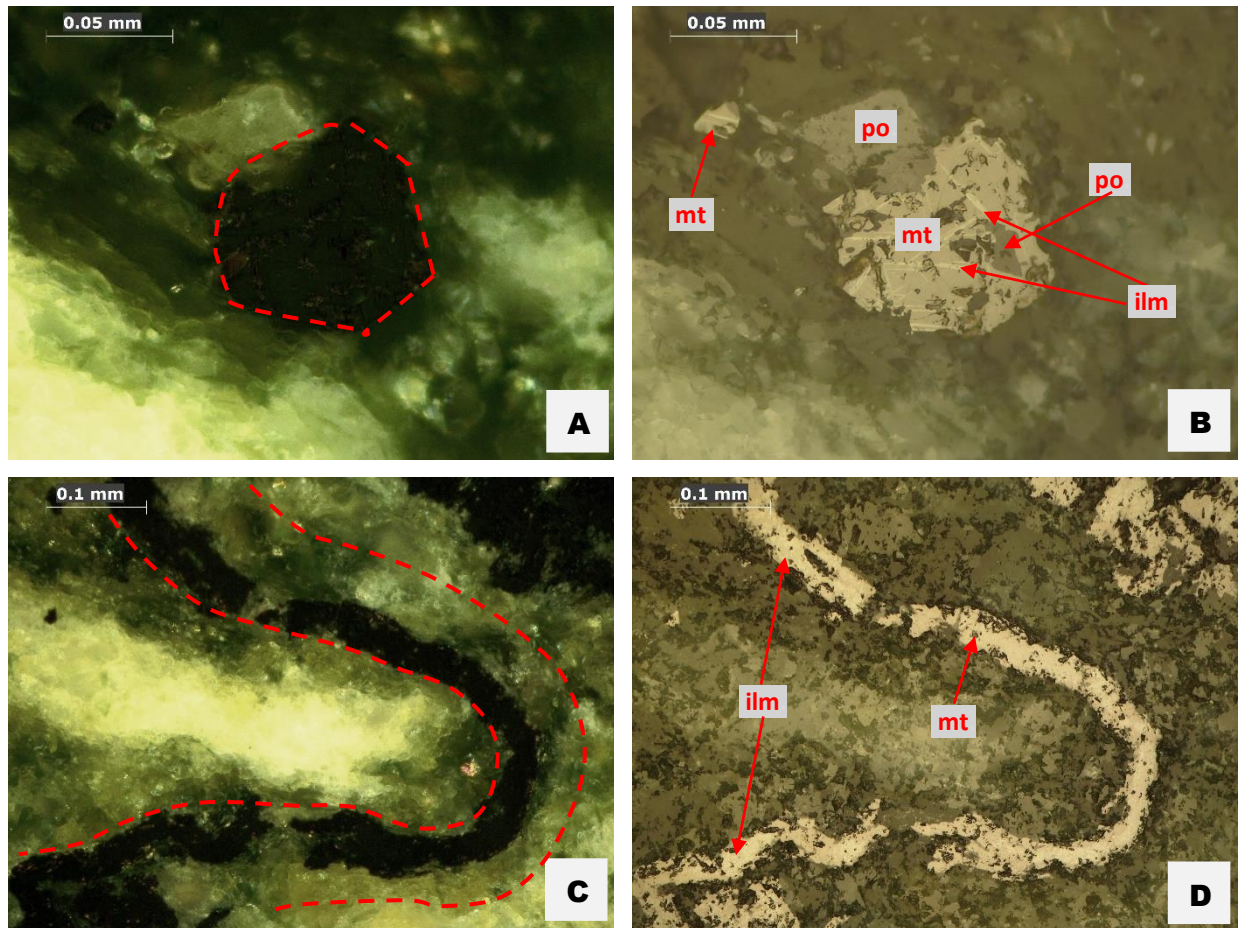
**Tabla 13**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-010*

Pirita	1.0 %
Pentlandita	0.5 %
Magnetita	3.5 %
Ilmenita	1.0 %
Translucidos	94.0 %
Total	100.0 %

### 5.3.8 Muestra: ACOB – 012





**Figura 69.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-012: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A y B), 20x (C y D)

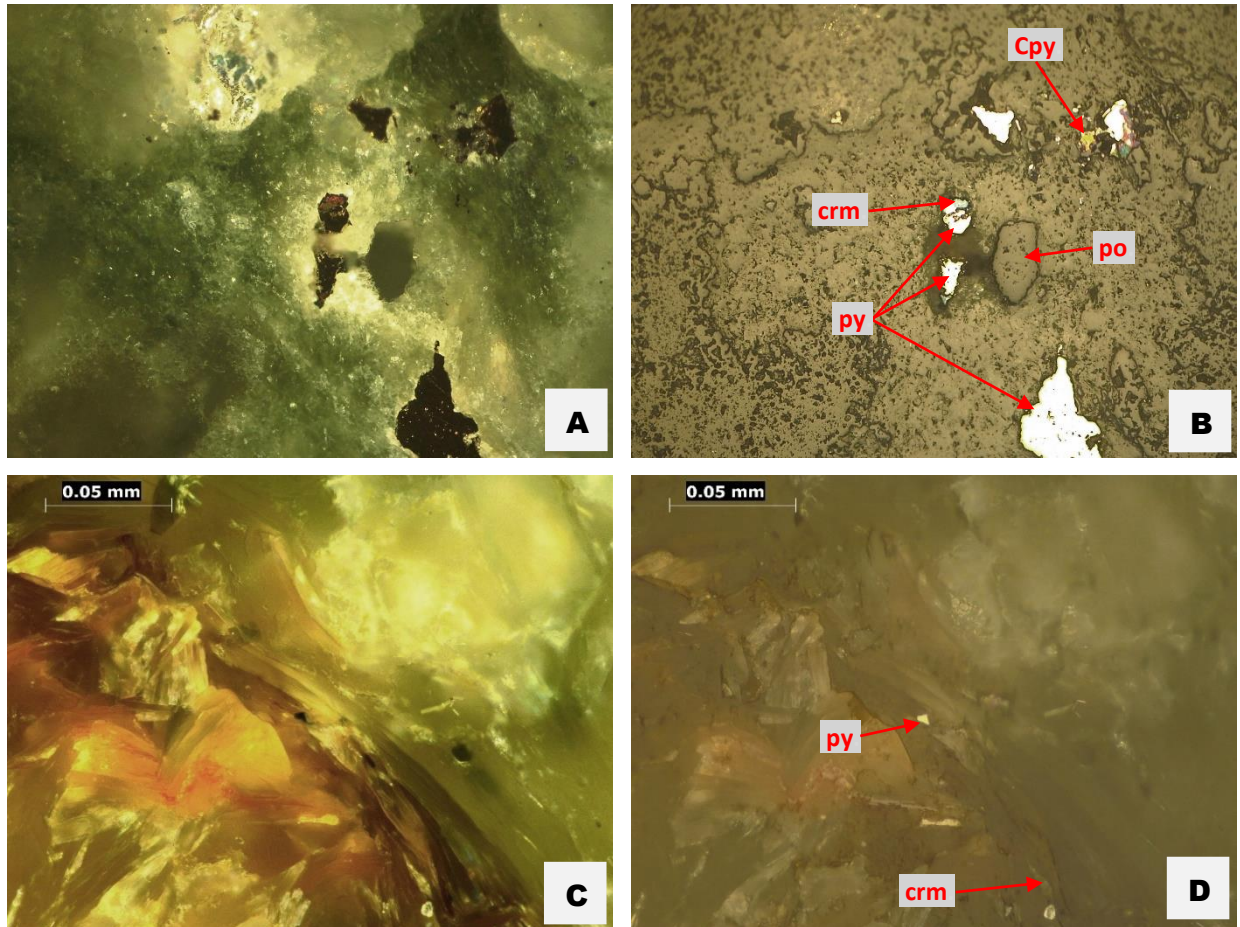
En la figura (A y B), tenemos cristal subhedral con indicios de ser un cristal hexagonal de magnetita (mt) con lamelas típicas de ilmenita (ilm) dentro del cristal de magnetita, también se evidencia ¿pirrotita? (po) en forma diseminada y difícil de identificar porque se presentan en microcristales, todo ello dentro de matriz de serpentina (spt). En la figura 64 (C y D), se evidencia venilla deformada y/o plegada por los múltiples esfuerzos que sufrió el macizo ultramáfico, estos se encuentran rellenas por magnetita (mt) principalmente, en medio de serpentinas (spt), dentro de ella se aprecia ilmenita obedeciendo la misma estructura plegada.

**Tabla 14**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-012*

Pirita	1.0 %
Pirrotita	0.5 %
Magnetita	3.0 %
Ilmenita	1.0 %
Translucidos	94.5 %
Total	100.0 %

**5.3.9 Muestra: ACOB – 015**



**Figura 70.** Fotomicrografías mineralógicas de la muestra ACOB-015: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 5x (A y B), 50x (C y D).

En la figura (A y B), tenemos cristal subhedral de cromita (crm) de color marrón, mostrando alteración a minerales opacos, principalmente a magnetita (mt), se aprecia también cristales de pirita (py), calcopirita (Cpy), pirrotita (po) diseminado en concentración puntual, esto se observa en una matriz de serpentina. En la figura 65 (C y D), Cromita (crm) en proceso de alteración a ¿ferritcromita? (fer), y estas a magnetita (mt) todo ello en medio de serpentinas, además un microcristal de pirita (py)



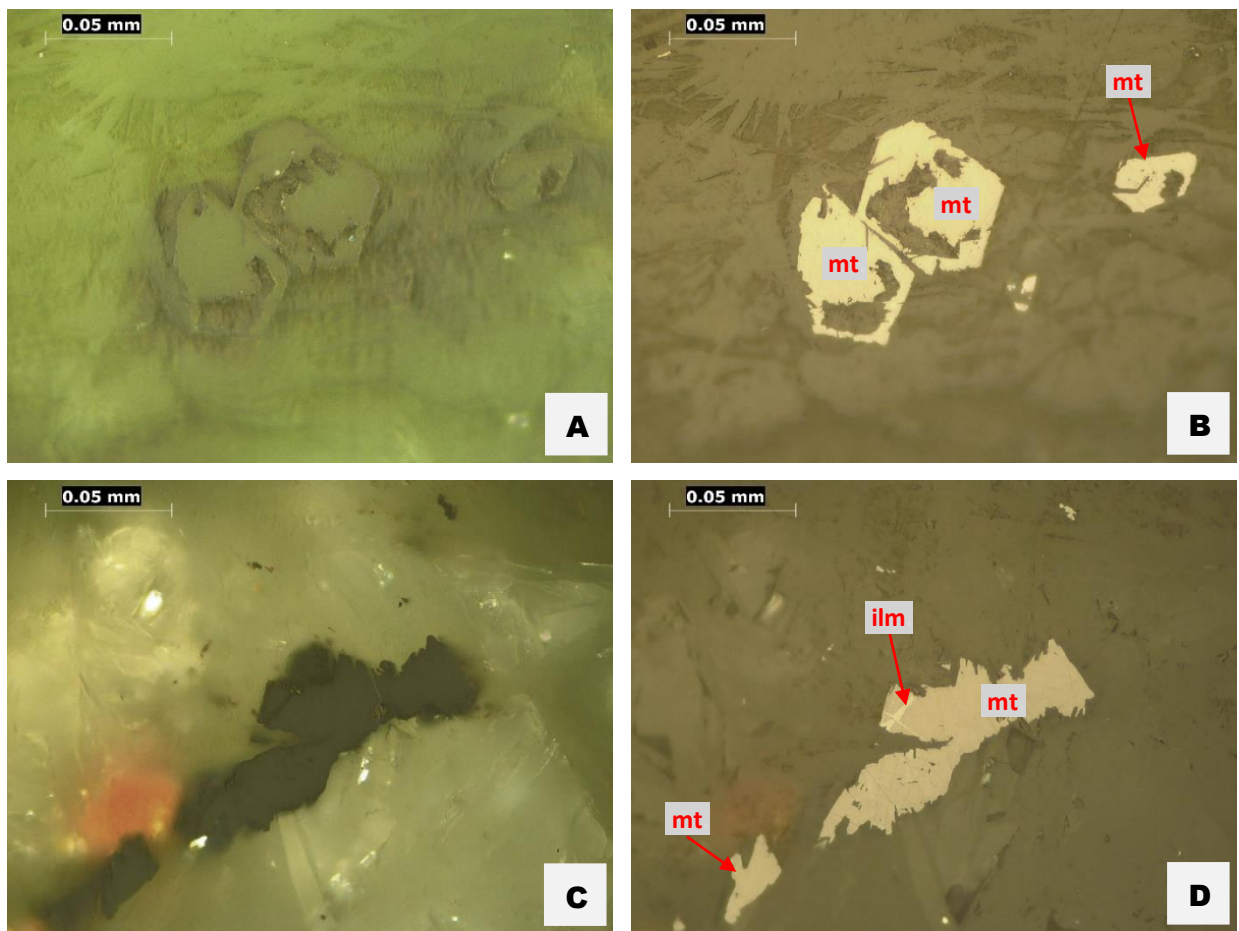
**Tabla 15**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-015*

Pirita	1.5 %
Cromita	1.0 %
Ferritcromita	0.5 %
Magnetita	0.5 %
Translucidos	96.5 %
Total	100.0 %

• **AFLORAMIENTO 3**

**5.3.10 Muestra: ACOB – 004**



**Figura 71.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-004: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D)

En la figura (A y B), observamos cristal euhedral de ¿magnetita? (mt) cuyo núcleo fue alterado y ese espacio posteriormente reemplazado y/o rellenado por serpentinas (spt), dichos cristales se encuentran en una matriz de serpentinas (spt). En la figura 66 (C y D), se tiene cristal anhedral de magnetita (mt), dicho cristal se encuentra interceptada por una



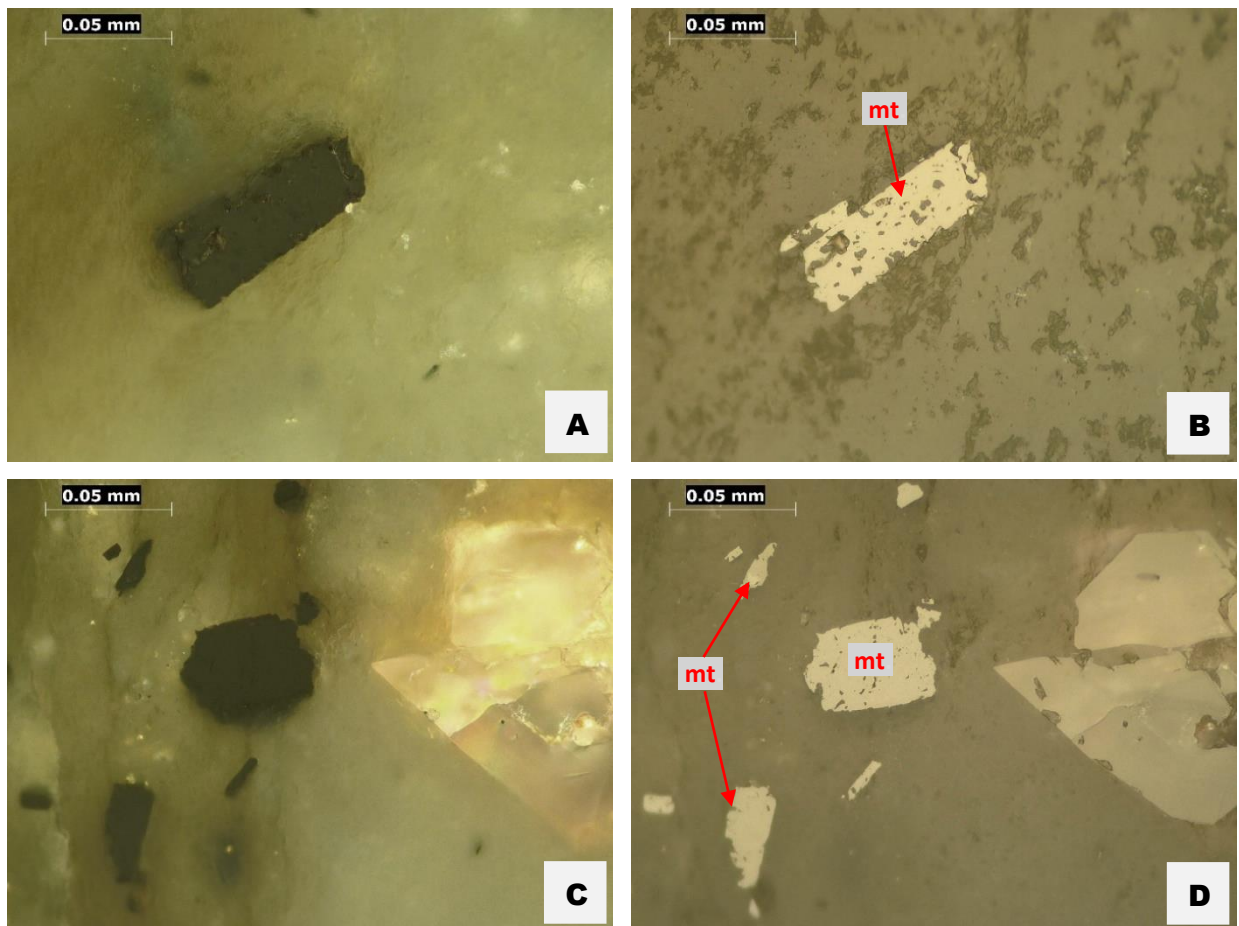
lamela de ilmenita (ilm), claramente definida dentro de la magnetita, todo ello rodeado o en medio de serpentinas (spt).

**Tabla 16**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-004*

Pirita	1.0 %
Magnetita	2.0 %
Ilmenita	0.5 %
Translucidos	96.5 %
Total	100.0 %

### 5.3.11 Muestra: ACOB – 005



**Figura 72.** Fotomicrografías mineralográficas de la muestra ACOB-005: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D).

En la figura (A y B), Cristal tabular de ¿magnetita? (mt) con intercrecimiento de otra especie mineral dentro del cristal, se aprecia mejor en NP o figura 67-B esto en matriz completamente de serpentina (spt). En la figura 67 (C y D), Cristal hexagonal de

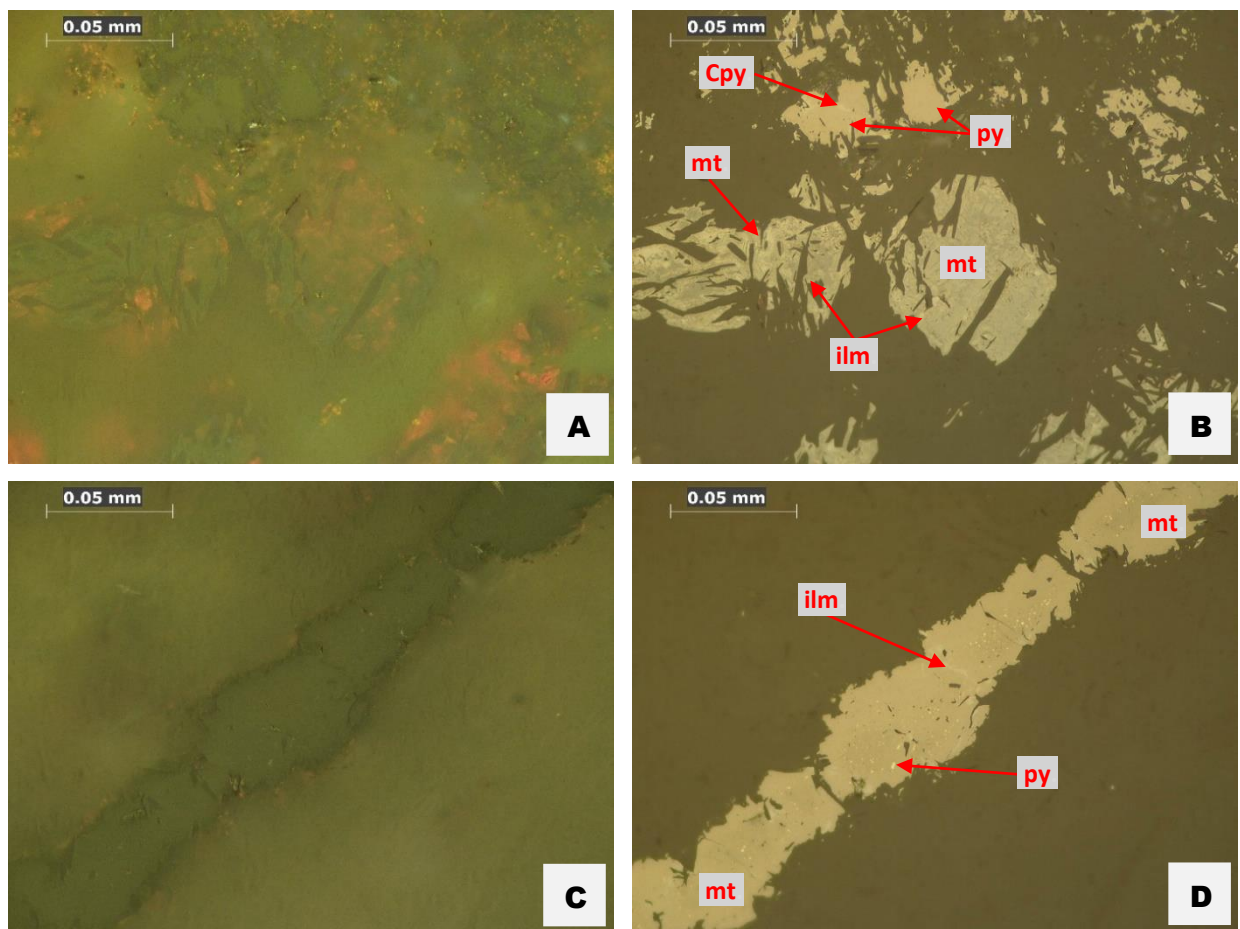
magnetita (mt), con pequeños indicios de haber contenido ¿cromita? (crm) en una toma distinta a la figura adjunta, también se observa ¿ilmenita? (ilm) dentro de los cristales de magnetita, en forma de pequeñas playas, incluso parecen diseminados a los bordes del mineral principal, todo esto se da en matriz de serpentina (spt).

**Tabla 17**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-005*

Cromita	0.5 %
Pirita	0.5 %
Magnetita	1.0 %
Ilmenita	0.5 %
Translucidos	97.5 %
Total	100.0 %

### 5.3.12 Muestra: ACOB – 011



**Figura 73.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-011: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D)

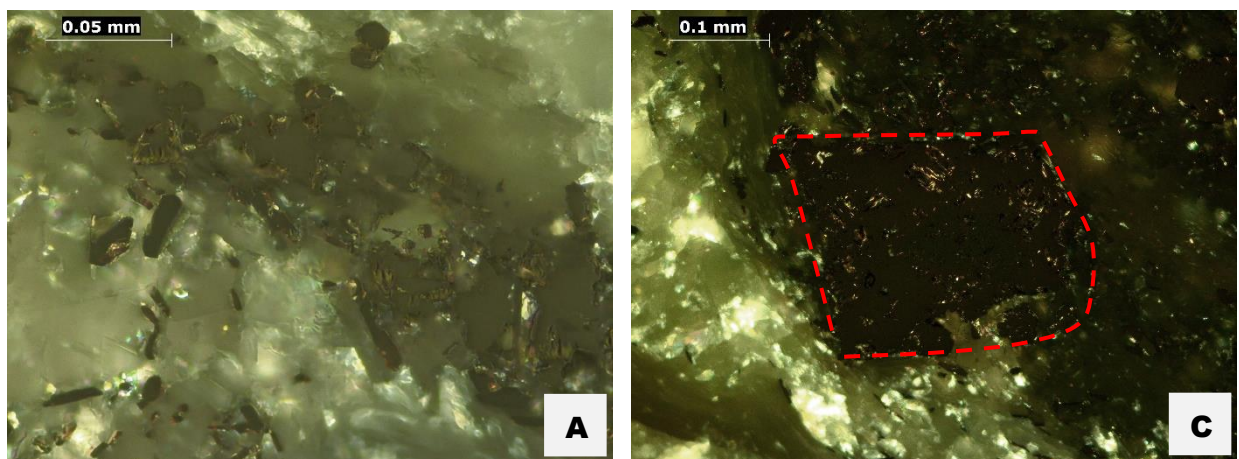
En la figura (A y B), tenemos cristales anhedrales de pirita (py), en forma diseminada desde cristales muy pequeños hasta unos regulares, en la figura 68 - B, se aprecia mejor, de igual manera cristales anhedrales de calcopirita (Cpy) y cristales subhedrales de magnetita (mt) este último, con típicas lamelas de ilmenita (ilm), en formas alargadas dentro de los cristales de magnetita. En la figura 68 (C y D), se observa una venilla rellena por magnetita (mt) con lamelas y playas de ilmenita (ilm), también se evidencia diseminación de ¿pirita? (py) y ¿pirrotita? (po) dentro de la magnetita a lo largo de la fractura.

**Tabla 18**

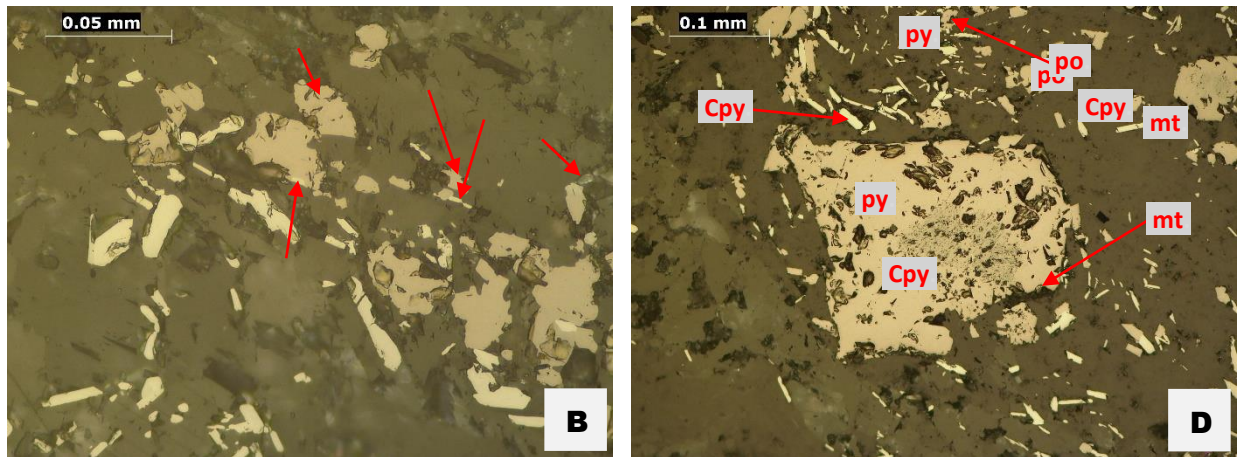
*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-011*

Pirita	0.5 %
Pirrotita	0.5 %
Magnetita	1.0 %
Ilmenita	0.5 %
Translucidos	97.5 %
Total	100.0 %

### 5.3.13 Muestra: ACOB – 014







**Figura 74.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-014: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A y B), 20x (C y D).

En la figura (A y B), se aprecia varios cristales, dentro de ellas tenemos cristales anhedrales de pirita (py) y ¿pirrotita? (po) principalmente, con una cierta alineación en conjunto, se evidencia también cristales de magnetita (mt) con las características lamelas de ilmenita (ilm) en medio de una matriz de serpentinas. En la figura 69 (C y D), se tiene cristal subhedral de pirita (py) ligeramente deformado por los esfuerzos sufridos, al centro del cristal se evidencia una leve alteración, también se puede apreciar presencia de magnetita (mt) pirrotita (po) y calcopirita (Cpy), todo ello en matriz de serpentina (spt).

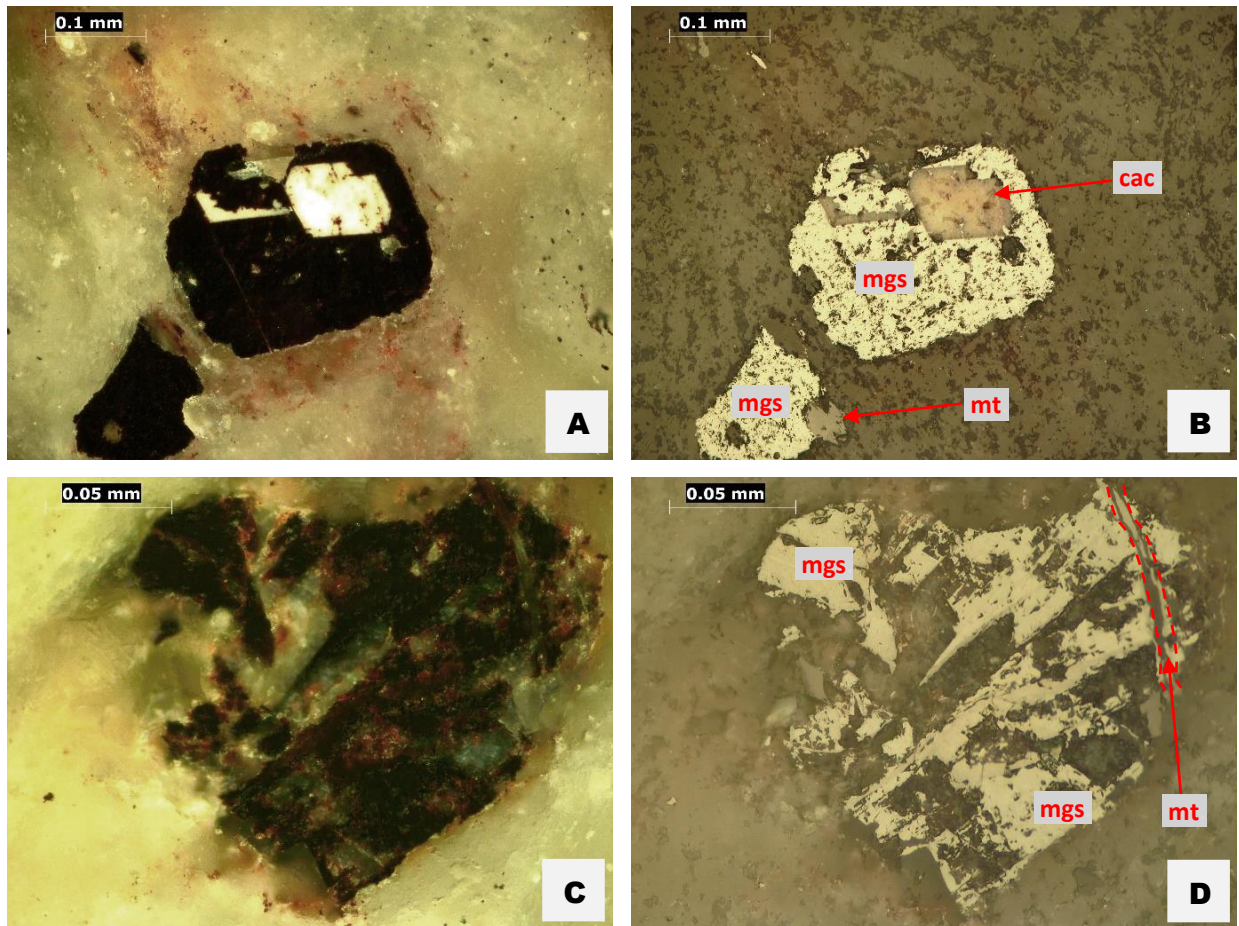
**Tabla 19.**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-014*

Pirita	1.5 %
Calcopirita	1.0%
Pirrotita	0.5 %
Magnetita	3.0 %
Ilmenita	0.5 %
Translucidos	93.5 %
Total	100.0 %

- **AFLORAMIENTO 4**

### 5.3.14 Muestra: ACOB – 006



**Figura 75.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-006: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 20x (A y B) 50x (C y D).

En la figura (A y B), se ve un cristal subhedral de magnesita (mgs) dentro de ella, incluido se puede apreciar un cristal euhedral de calcita (cac) en contacto con el cristal de la parte inferior se puede apreciar magnetita (mt) y a los bordes del cristal principal se tiene ¿hematita? (hm) todo ello en medio de serpentinas. En la figura 70 (C y D), nuevamente cristal de magnesita (mgs) bastante alterado donde tenía presente la calcita, quedado solamente los espacios cuya característica típica son de dicho mineral, cortado por una venilla rellena de magnetita (mt). que las anteriores todo ello en medio de serpentinas.



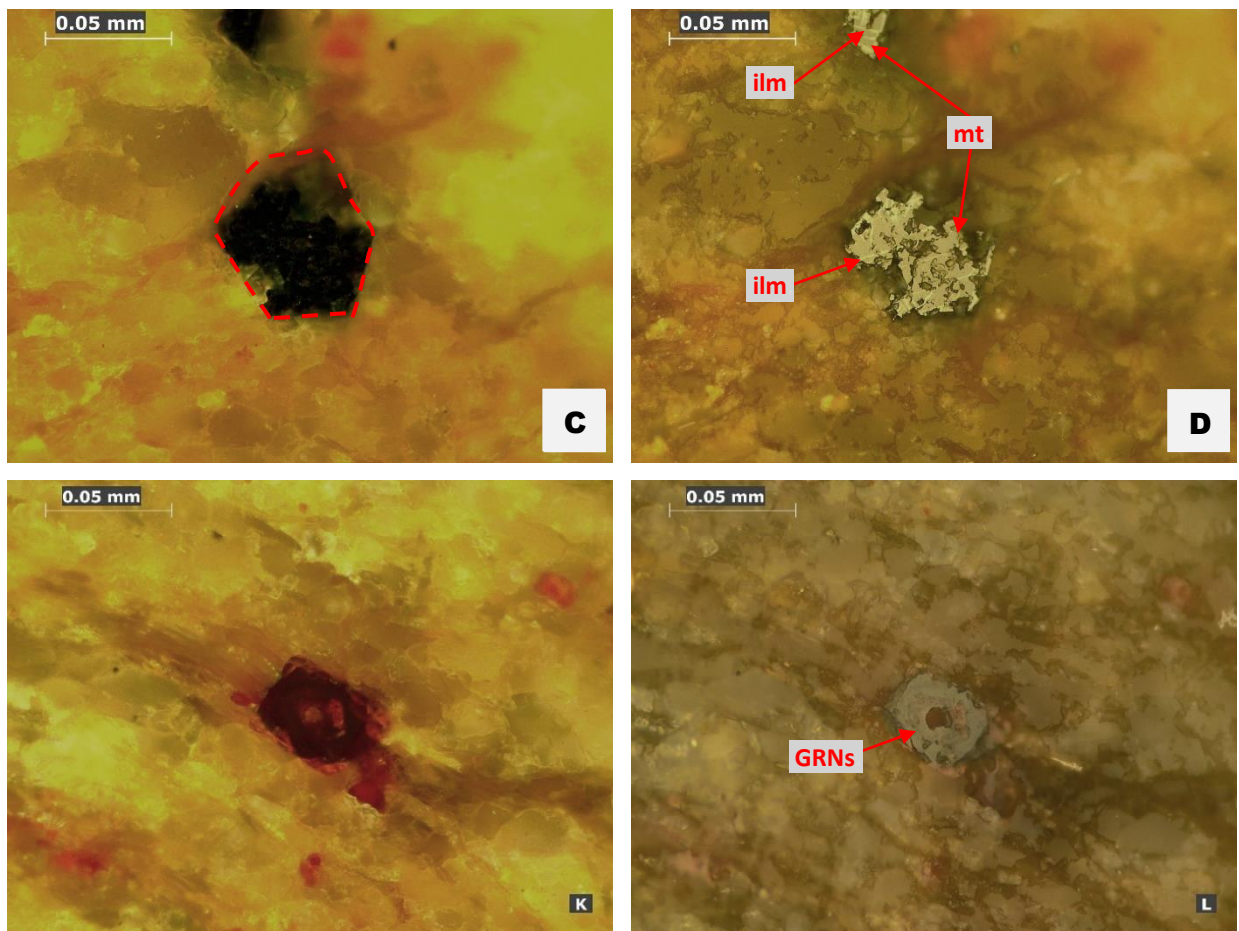
**Tabla 20**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-006*

Magnetita	1.0 %
Hematita	0.5 %
Magnesita	2.0 %
Calcita	1.0 %
Translucidos	95.5 %
Total	100.0 %

• **ROCA CAJA**

**5.3.15 Muestra: ACOB – 013**



**Figura 76.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-013: NX (A y C), NP (B y D) Objetiva 50x (A - D)

En la figura (A y B), se evidencia cristal euhedral de magnetita (mt) con los bordes bastante alterados y ya reemplazados por silicatos o serpentinas y lamelas de ilmenita (ilm) dentro del cristal de magnetita, todo ello dentro de una matriz de serpentinita (spt). En la figura 71 (C y D), se tiene cristal subhedral de granate (GRNs) cuyos bordes intermedios, producto del crecimiento del cristal, y la ligera variación de coloración, por



el contenido de minerales contaminantes, al centro aparentemente se tiene una inclusión de un mineral distinto.

**Tabla 21**

*Composición modal estimada visualmente de la muestra ACOB-013*

Granate	2.0 %
Pirita	0.5 %
Magnetita	1.0 %
Ilmenita	0.5 %
Translucidos	96.0 %
Total	100.0 %

### 5.3.16 Paragénesis y Secuencia Paragenética

Para la elaboración de Paragénesis y Secuencia Paragenética del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba, se realiza resúmenes en cuadros porcentuales según la estimación visual por cada muestra para cada afloramiento del área estudiada, de esta manera podemos determinar la concentración de cada mineral en los distintos afloramientos y para la secuencia mineralógica se toma en cuenta los intercrecimiento y texturas mineralógicas.

**Tabla 22**

*Resumen de composición modal del afloramiento 1.*

	Acob-009	TOTAL	PROMEDIO
Pirita	2.0	2.0	<b>2.00 %</b>
Pirrotita	0.5	0.5	<b>0.50 %</b>
Calcopirita	1.0	1.0	<b>1.00 %</b>
Bornita	0.5	0.5	<b>0.50 %</b>
Magnetita	1.0	1.0	<b>1.00 %</b>
Hematita	1.0	1.0	<b>1.00 %</b>
Translucidos	94.0	94.0	<b>94.00 %</b>
TOTAL			<b>100.00 %</b>



**Tabla 23**  
*Resumen de composición modal del afloramiento 2.*

	Acob-001	Acob-002	Acob-003	Acob-007	Acob-008	Acob-010	Acob-012	Acob-015	TOTAL	PROMEDIO
Pirita		2.0	2.0	1.5	0.5	1.0	1.0	0.5	8.5	<b>1.06 %</b>
Pirrotita		0.5	0.5	0.5			0.5		2.0	<b>0.25 %</b>
Calcopirita		0.5	0.5	1.0					2.0	<b>0.25 %</b>
Bornita			0.5						0.5	<b>0.06 %</b>
Pentlandita						0.5			0.5	<b>0.06 %</b>
Cromita			1.0	0.5				1.0	2.5	<b>0.31 %</b>
Ferritcromita			0.5					0.5	1.0	<b>0.12%</b>
Magnetita		1.0	3.0	4.0		3.5	3.0	0.5	15.0	<b>1.88 %</b>
Ilmenita				1.0		1.0	1.0		3.0	<b>0.38 %</b>
Hematita	0.5			0.5					1.0	<b>0.12%</b>
Magnesita	3.0								3.0	<b>0.38 %</b>
Granate					0.5				0.5	<b>0.06 %</b>
Translucidos	96.5	96.0	92.0	91.0	99.0	94.0	94.5	97.5	760.5	<b>95.07 %</b>
<b>TOTAL</b>										<b>100.00%</b>

**Tabla 24**  
*Resumen de composición modal del afloramiento 3.*

	Acob-004	Acob-005	Acob-0011	Acob-014	TOTAL	PROMEDIO
Pirita	1.0	0.5	0.5	1.5	3.5	<b>0.86 %</b>
Pirrotita			0.5	0.5	1.0	<b>0.25 %</b>
Cromita		0.5			0.5	<b>0.13 %</b>
Magnetita	2.0	1.0	1.0	3.0	7.0	<b>1.75 %</b>
Ilmenita	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	<b>0.50 %</b>
Translucidos	96.5	97.5	97.5	94.5	386.0	<b>96.51 %</b>
<b>TOTAL</b>						<b>100.00%</b>

**Tabla 25**  
*Resumen de composición modal del afloramiento 4.*

	Acob-006	TOTAL	PROMEDIO
Calcita	1.0	1.0	<b>1.0 %</b>
Magnesita	2.0	2.0	<b>2.0 %</b>
Magnetita	1.0	1.0	<b>1.0 %</b>
Hematita	0.5	0.5	<b>0.5 %</b>
Translucidos	95.5	95.5	<b>95.5 %</b>
<b>TOTAL</b>			<b>100.00 %</b>

**Tabla 26**

*Resumen de composición modal roca caja.*

	Acob-006	TOTAL	PROMEDIO
Granate	2.0	2.0	<b>2.0 %</b>
Pirita	0.5	0.5	<b>0.5 %</b>
Magnetita	1.0	1.0	<b>1.0 %</b>
Hematita	0.5	0.5	<b>0.5 %</b>
Translucidos	96.0	96.0	<b>96.0 %</b>
<b>TOTAL</b>			<b>100.00 %</b>

**Tabla 27**

*Paragénesis y Secuencia Paragénética del macizo ultramáfico de Tapo, sector Acobamba.*

FASE	MINERAL	AFLORAMIENTO			
		1	2	3	4
MAGMÁTICA	Cromita		■	■	
	Ferritcromita		■		
	Magnetita	■	■	■	■
	Ilmenita		■	■	
SULFURADA	Pirita	■	■	■	
	Pirrotita	■	■	■	
	Pentlandita		■		
	Calcopirita	■	■		
	Bornita	■	■		
OXIDADA	Hematita	■	■		■
CARBONATADA	Magnesita				■
	Calcita				■

Según la Tabla N° 27 se observa que el mineral más abundante y presente en los 4 afloramientos es la magnetita, seguido por la pirita y pirrotita, en cuestión a la ferritcromita tenemos presente solamente en el afloramiento N° 2, mientras que los carbonatos se tienen solamente en el afloramiento N° 4 y esta se encuentra en campo dentro del Grupo Ambo, mientras que los 3 anteriores están dentro del grupo Huaytapallana.

La paragénesis se da en dos fases principales y 2 secundarias, a mayor temperatura se formó la cromita y magnetita, cristales puntuales de la cromita se encuentran alterándose a magnetitas secundarias, y en transición entre ambos se determina una especie mineral denominado ferritcromita; la ilmenita sería la última etapa de la fase magmática, se presenta como alteración de las cromitas y principalmente de la magnetita,





por ello se evidencia con mayor frecuencia en forma de lamelas dentro de dichos cristales. En la fase sulfurada se evidencia cristales en forma diseminada de pirita, pirrotita, pentlandita, calcopirita y bornita principalmente, algunos de ellos se encuentran en proceso de oxidación mientras que otros esta conservados. Las fases secundarias están dadas por precisamente oxidación de los sulfuros y carbonatación, tenemos minerales como: hematitas, magnesita y calcita, respectivamente.

- **Análisis por Difracción de Rayos X**

Para la corroboración y cumplimiento de estos dos primeros objetivos, se seleccionó 1 muestra de código, ACOB - 007, se le practico Análisis por Difracción de Rayos X, en el Laboratorio de Yacimiento Minerales de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Este método de análisis nos da composición de elementos (mineral), y según el análisis de DRX a la muestra ACOB-007 tenemos los siguientes minerales:

- Cuarzo
- Epidota
- Magnetita
- Chamosita
- Hematita
- Actinolita
- Anortita
- Birnessita



ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



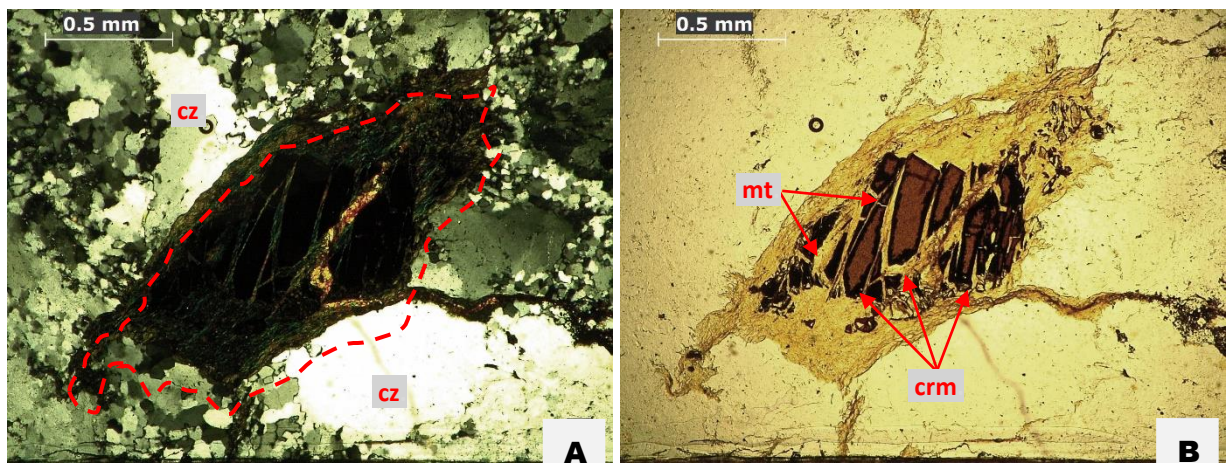
*Figura 77. Resultado del Análisis de Difracción de Rayos X, de la muestra ACOB-007.*

## 5.4 MINERALIZACIÓN ECONÓMICA

La determinación de los principales minerales de interés económica, se dio en la etapa de descripción minerográfica, de ella se obtienen las más representativas que se detalla en seguida.

- **CROMITA**

### 5.4.1 Muestra: ACOB – 003

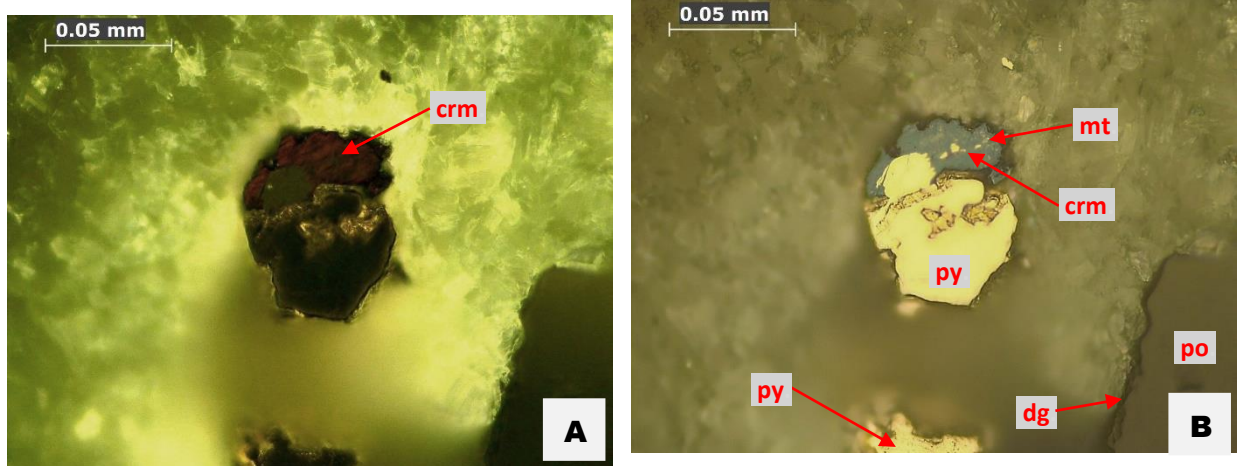


**Figura 78.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-003: NX (A), NP (B) Objativa 5x (A y B)

En la figura (A y B), tenemos cristal fracturado de cromita (crm) de 0.85mm x 0.55mm se puede apreciar mejor en NP o la figura 73-B, cristal de color marrón con alteración a minerales opacos (OPs), dicho cristal se ubica dentro de un fragmento de serpentina y todo esto se encuentra dentro de cuarzo (cz) de grano fino y medio.

### 5.4.2 Muestra: ACOB – 003

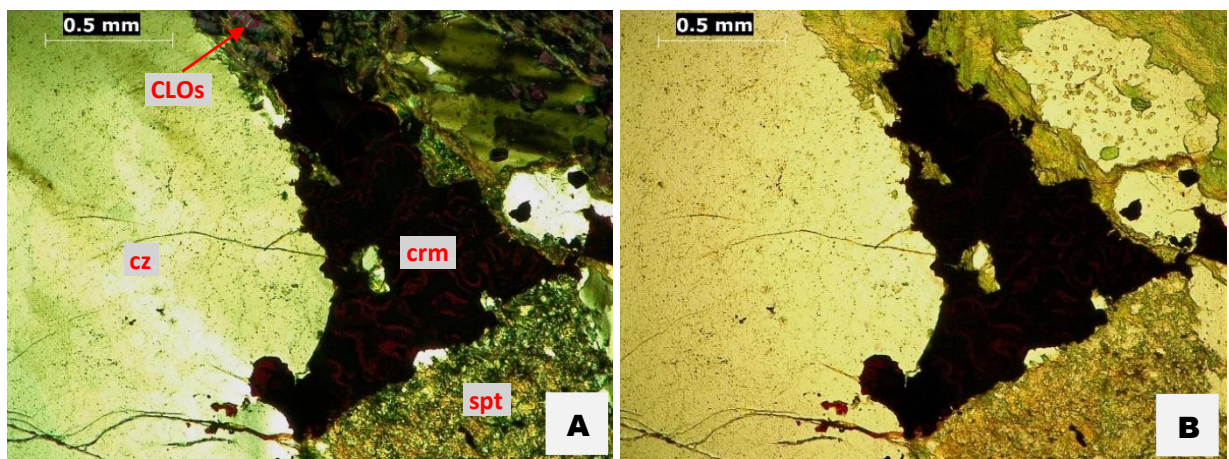




**Figura 79.** Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-003: NX (A), NP (B) Objensiva 50x (A y B)

En la figura (A y B), se aprecia el cristal anhedral de cromita (crm) gran parte alterado a magnetita (mt) en los bordes de la cromita, cristal subhedral de pirita (py) en medio de matriz de serpentina (spt) parte derecha inferior presencia de ¿pirrotita? (po) y un borde a manera de alteración compuesta por ¿digenita? (dg).

#### 5.4.3 Muestra: ACOB – 015

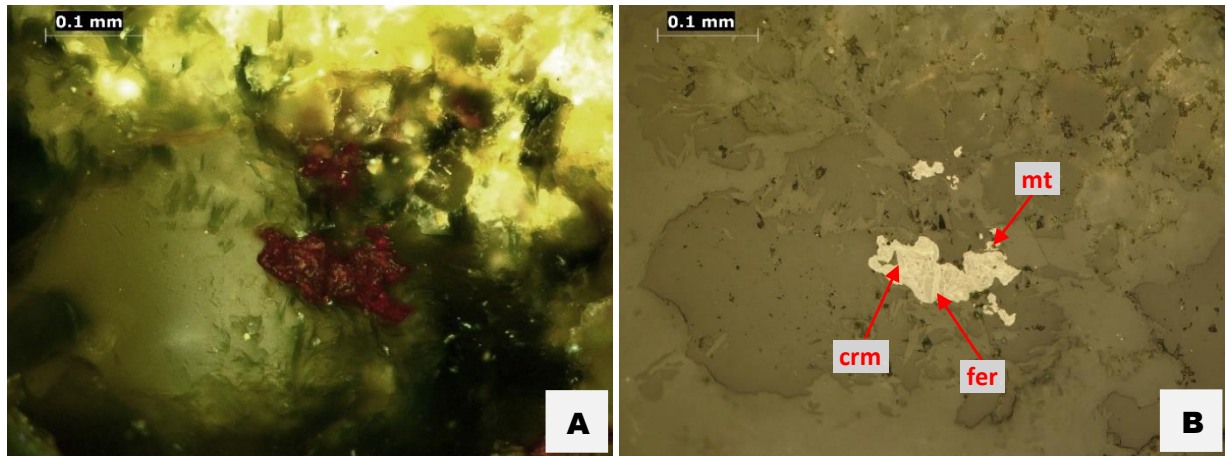


**Figura 80.** Fotomicrografías petrográficas de la muestra ACOB-015: NX (A), NP (B). Objensiva 5x (A y B)

En la figura (A y B), vemos contacto entre minerales ultramáficos y cuarzo, entre ellos se aprecia minerales Opacos (OPs) ¿cromita? (crm) posiblemente alterándose a ¿ferritcromita? (fer) y esta a su vez a ¿magnetita? (mt) generalmente a los bordes del

crystal, contenido mineralógico ultramáfico como serpentina (spt), anfíboles (ANFs) Piroxenos (PXs), epidota (ep) y cloritas (CLOs) en contacto con cristal de cuarzo (cz).

#### 5.4.4 Muestra: ACOB – 015

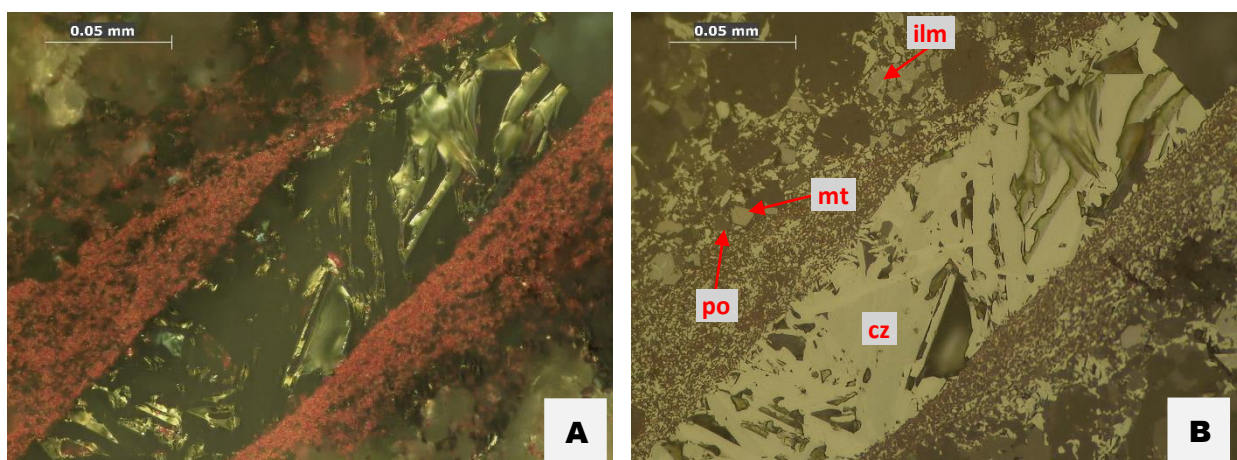


**Figura 81.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-015: NX (A), NP (B) Objetiva 20x (A y B)

En la figura (A y B), se observa cristal de cromita (crm) en proceso de alteración a ferritcromita (fer), (la variación de coloración dentro del cristal) y esta a su vez en proceso de alteración a magnetita (mt), esta última se encuentra a los bordes de la cromita, todo ello en medio de serpentinas.

- **MAGNETITA**

#### 5.4.5 Muestra: ACOB – 007

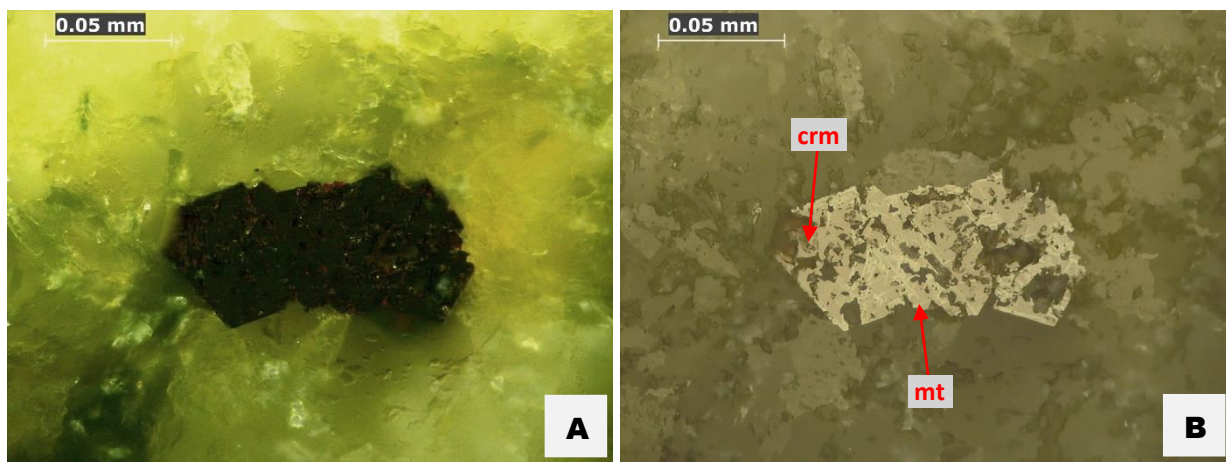


**Figura 82.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-007: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B)



En la figura 77 (A y B), microfotografía ampliada de una venilla, donde se observa la magnetita (mt) relleno por completo parte de la venilla, bordeado por hematita (hm), bordes de la magnetita alterados a ilmenita (ilm), también se evidencia presencia de cuarzo (cz), ¿pirrotita? (po).

#### 5.4.6 Muestra: ACOB – 007



**Figura 83.** Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-007: NX (A), NP (B) Objativa 50x (A y B).

En la figura (A y B), se aprecia tres cristales de magnetita (mt) intercrecidos entre sí, pero que aún conservan su sistema cristalino (hexagonales, subhedrales), en NX se puede apreciar rastros rojizos que aparentemente fueron cromitas (crm) que ya se encuentra reemplazadas por magnetitas en su totalidad, en NP se puede apreciar la alteración del cristal, de coloración más clara como venillas interceptadas, son lamelas de Ilmenita (ilm).



#### 5.4.7 Muestra: ACOB – 010

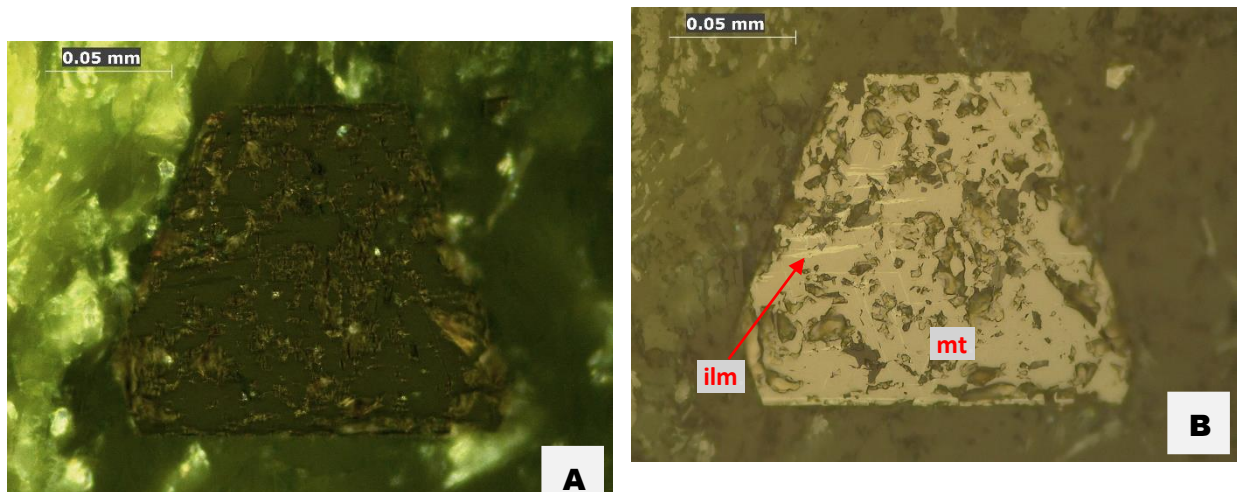


Figura 84. Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-010: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B)

En la figura 79 (A y B), se presenta cristal euhedral de magnetita (mt) en NX se puede apreciar el cristal de magnetita en matriz de color verdoso que es la serpentina (spt) y en NP se puede ver con claridad la alteración de la magnetita a lamelas de ilmenita (ilm) son esas pequeñas venillas de coloración más clara que la magnetita, por lo general se interceptan entre ellos.

- **ILMENITA**

#### 5.4.8 Muestra: ACOB – 010

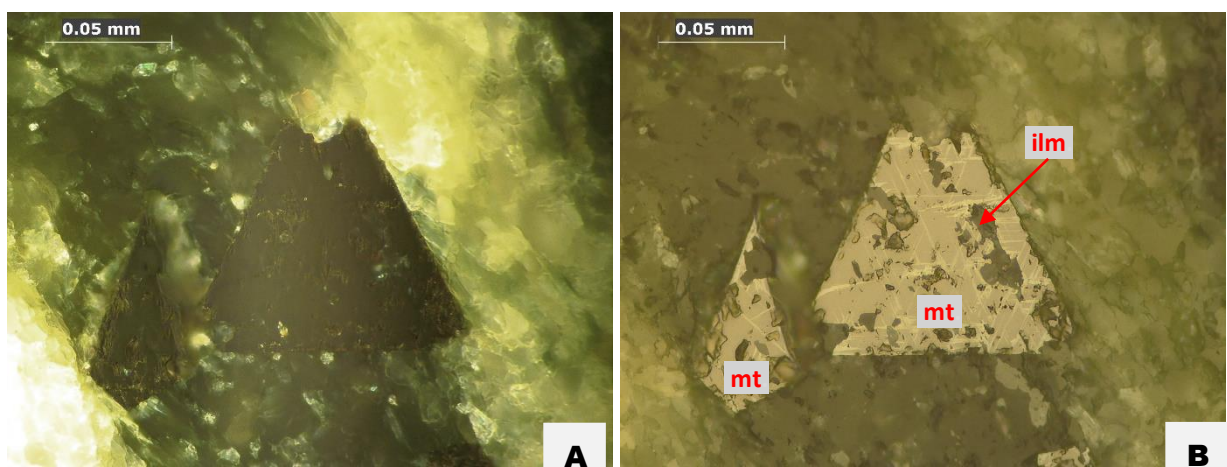
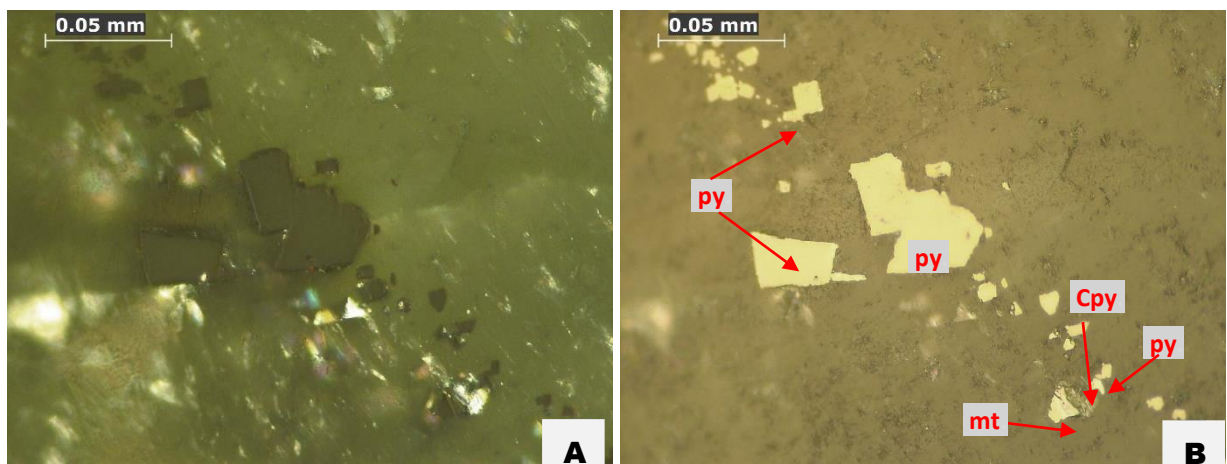


Figura 85. Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-010: NX (A), NP (B) Objetiva 50x (A y B).

En la figura (A y B), se observa cristal euhedral de magnetita (mt) en NP o figura 80-B, se puede apreciar con mayor facilidad, la presencia de lamelas de ilmenita (ilm) por lo general están que se interceptan entre ellos, son de coloración más clara que la magnetita y se encuentran dentro del cristal, en ocasiones en los bordes en forma de playas.

- **PIRITA**

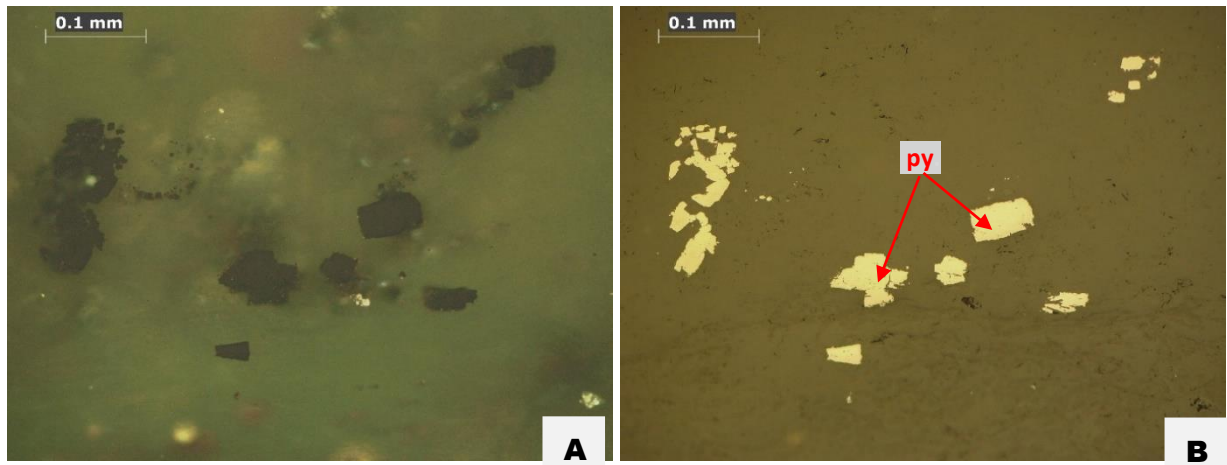
#### 5.4.9 Muestra: ACOB – 002



**Figura 86.** Fotomicrografías minerográficas de la muestra ACOB-002: NX (A), NP (B) Objativa 50x (A y B)

En la figura (A y B), Cristales subhedrales y anhedrales de pirita (py) de 0.04mm de diámetro en promedio, también se aprecia cristales anhedrales de calcopirita (cpy) y ¿bornita? (bn) y pequeños microcristales de magnetita (mt) en forma diseminada, de coloración más grisáceo.

#### 5.4.10 Muestra: ACOB – 011



**Figura 87.** Fotomicrografías mineragráficas de la muestra ACOB-011: NX (A), NP (B) Objetiva 20x (A y B).

En la figura (A y B), Varios cristales subhedrales de pirita (py) se observa mejor en NP, y precisamente en la figura B, zona izquierda de la figura se observa un cristal de pirita en forma esquelética, sienta reemplazado completamente por silicatos o serpentinas, ello debido a la alteración que sufrió dicho cristal.

- **Análisis por Fluorescencia de Rayos X**

Para la corroboración y cumplimiento de este objetivo, se seleccionó 1 muestra de código, ACOB - 007, se le practico Análisis por Fluorescencia de Rayos X, en el Laboratorio de Yacimiento Minerales de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Este método de análisis nos da como resultado concentración de elementos, y según el análisis de FRX a la muestra tenemos los siguientes elementos (ver tabla 28), dentro de los principales están:



**Tabla 28***Resultado del Análisis por Fluorescencia de Rayos X, de la muestra ACOB-007.*

FORMULA	CONCENTRATION	UNID	EVALUATION MODE	QUANTIFIED BY	RANGE NAME
Fe	74.48	%	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Ca	14.87	%	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Ti	5.12	%	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Mn	1.24	%	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Co	6406	ppm	Stdless	Auto (K used)	Range 3
La	5449	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Ba	4941	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Sr	4012	ppm	Stdless	K	Range 2
Zr	3534	ppm	Stdless	K	Range 2
Cu	2532	ppm	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Zn	1911	ppm	Stdless	K	Range 2
V	1901	ppm	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Cs	1863	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Cr	1507	ppm	Stdless	Auto (K used)	Range 3
I	1397	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Te	1301	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Sb	1008	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Ni	922	ppm	Stdless	Auto (K used)	Range 3
K	835	ppm	Stdless	Auto (K used)	Range 3
Sn	712	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Ag	430	ppm	Stdless	K	Range 2
In	377	ppm	Stdless	K	Range 2
Hf	359	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 2
Pd	332	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 3
Cd	259	ppm	Stdless	K	Range 2
Y	255	ppm	Stdless	K	Range 2
Ga	218	ppm	Stdless	K	Range 2
Ta	163	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 2
Rh	157	ppm	Stdless	K	Range 2
Ru	116	ppm	Stdless	K	Range 2
W	34	ppm	Stdless	Auto (L used)	Range 2

Principales elementos que forman parte de ciertos minerales, presentes en el macizo ultramáfico sector Acobamba.

- Fe : Fierro - magnetita, hematita, ilmenita, pirita, calcopirita, cromita, pirrotita, bornita, pentlandita.
- Ca : Calcio – Plagioclasa Calcita (Anortita)
- Ti : Titanio – Ilmenita



- Mn : Manganeso
- Co : Cobalto
- La : Lantano
- Ba : Bario
- Cu : Cobre – calcopirita, bornita,
- Zn : Zinc
- Cr : Cromo – cromita. ferritcromita
- Ni : Níquel – pentlandita
- Ag : Plata.

Se tiene resultado de los principales elementos que conforman un macizo ultramáfico, y se detalla los óxidos y sulfuros presentes; sin embargo, no refleja la presencia de magnesio (Mg), ni aluminio (Al), elementos fundamentales para las interpretaciones y/o determinaciones por ejemplo de olivinos, serpentinas y otros, esto debido al análisis puntual de una muestra, sin embargo, al analizar las demás muestras hay grandes posibilidades de que se determine dicha presencia de magnesio y aluminio.



## V. CONCLUSIONES

- En la caracterización petrográfica, se describieron rocas máficas y ultramáficas, con posibles protolitos de gabros, piroxenitas, anfibolitas y brechas serpentinizadas; como roca encajonante de la serpentización se tienen filitas crenuladas y filonitas. Los gabros, y las otras rocas máficas, presentan serpentización penetrativa y están compuestas por anfíboles, piroxenos, biotitas, plagioclasas cálcicas, crisotilo, antigorita, lizardita, cloritas, epidotas y cuarzo en abundancia, la presencia de este último mineral es básicamente como cuarzo secundario, o si no se encuentra fracturado, muy cercano a los contactos del cuerpo ultramáfico con las filitas. Estos afloramientos presentan mineralización de: magnetita, ilmenita, pirita y ocasionalmente cromita, espacialmente los sectores centrales de los afloramientos deformados albergan las mayores concentraciones de minerales económicos, las cuales podemos evidenciarlas en las muestras (ACOB-007, ACOB-10, ACOB-12), La mayor serpentización y deformación según el análisis de las muestras se dan en los extremos NW y SE de los afloramientos elongados 2 y 3, las muestras de dichos puntos son (ACOB-008, ACOB-011, ACOB-014 y ACOB-015). Además, no se descarta la posibilidad de encontrar peridotitas como protolito, con la determinación de olivinos o relictos de ellos en ciertas muestras puntuales, en esta ocasión no se detectó la presencia de dicho mineral.
- La paragénesis en el sector Acobamba esta dado en dos fases principales y dos secundarias de formación; las principales son magmática y sulfurada; la primera con contenido de cromita, ferritcromita, magnetita e ilmenita; la segunda presenta, pirita, pirrotita, pentlandita, calcopirita y bornita. Las fases secundarias de oxidación y carbonatación, presentan hematitas, magnesita y calcita, respectivamente. La magnetita





es el único mineral presente en los 4 afloramientos, mientras que la cromita está presente en los afloramientos 2 y 3, junto a diseminación puntual de sulfuros.

- Los minerales de interés económico son: cromita, presenta mayor concentración en el afloramiento 2 (promedio de 0.31 % según análisis modal), magnetita presente en los cuatro afloramientos serpentinizados de los cuales el que contiene mayor concentración es el afloramiento 2 (promedio de 1.88 % según análisis modal), de igual manera la ferritcromita (promedio de 0.12 % según análisis modal, en afloramiento 2), mientras que la ilmenita (promedio de 0.38 % según análisis modal, en afloramiento 2). Los sulfuros presentes están la pirita (promedio de 1.06 % según análisis modal, en afloramiento 2), pirrotita (promedio de 0.25 % según análisis modal, en afloramiento 2), calcopirita (promedio de 0.25 % según análisis modal, en afloramiento 2), bornita (promedio de 0.06 % según análisis modal, en afloramiento 2) y pentlandita (promedio de 0.06 % según análisis modal, en afloramiento 2).



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis químico por múltiplemente y otros métodos más sofisticados para determinar las concentraciones de cromita, olivino, serpentinas y otros minerales para dar una mejor interpretación espacial (asociación entre elementos) y temporal (secuencia paragenética de los minerales), además se recomienda realizar el análisis por métodos como DRX, FRX, a las 14 muestras restantes.
- Se recomienda realizar estudios con mayor énfasis en las rocas caja, desde el contacto con los cuerpos serpentinizados a más distales y ver el comportamiento gradual en mineralogía, grado de metamorfismo, contenido mineralógico de interés económico, alteraciones y otros.
- Realizar estudios específicos para determinar el origen (autóctono o alóctono) del macizo ultramáfico de Tapo en general, (Tanto sector Acobamba y Sector Tapo) apoyándose en análisis de los cuerpos serpentinizados y de las rocas encajonantes, estas podrían ser por ejemplo análisis químico básicamente en rocas encajonantes desde las más proximales a más distales, si contiene altos contenidos de mineralogía similar a los cuerpos serpentinizados podríamos decir que son alóctonos por inyección, también realizar secciones delgadas y pulidas en mayor cantidad de las rocas cajas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barnes, J., Eldam, R., Lee, C., Errico, J. L., & Cisneros, M. (2013). *Petrogenesis of serpentinites from the franciscan complex, Westem California, USA*. California, EEUU. p (143, 157 , 178).
- Castillo, H., Angamarca, L., Ojeda, F., & Cuenca, D. (2021). *Introducción a la petrografía*. Paraná, Brasil. Atena Editora.
- Castro Dorado, A. (1989). *Petrografía básica*. Editora, Paraninfo S.A.
- Castroviejo, R., Carrascal, R., Chirif, H., Rodrigues, J., Acosta, J., & Bernhardt, H. (2010) *Metalogenia asociada a los segmentos ofiolíticos de la cordillera oriental del Perú Central*. Revista Científica de la Sociedad Geológica del Perú. XV Congreso Peruano de Geología p. (54 - 62)
- Castroviejo, R., Rodrigues, J., Acosta, J., Pereira, E., Romero, D., Quispe, J., & Espi, J. (2009) *Geología de las ultramafitas pre-andinas de Tapo y Acobamba, Tarma, Cordillera Oriental del Perú*. Revista Científica de la Sociedad Geológica de España -SGE, Geogaceta, p. (7 - 10)
- Castroviejo, R., Rodrigues, J., Carrascal, R., Chirif, H., Acosta, J., & Uribe, R. (2009) *Mineralogía del Macizo Ultramáfico de Tapo (Cordillera Oriental Andina, Perú)*. Revista Científica de la Sociedad Española de Mineralogía - SEM, p. (55 - 56).
- Castroviejo, R. (1998). *Fundamentos de petrografía*. Madrid, España. Dpto. Ingeniería Geológica, Universidad Politécnica de Madrid.
- Chirif, H. (2010). *Microscopía óptica de minerales*. Lima, Perú. Boletín N° 1, serie J: Tópicos de Geología. INGEMMET.
- Cueva, E., Romero, D., Rodriguez, R., Díaz, E., Montes, M. & Vladivia, W. (2006). *Mapa geológico del cuadrángulo de Tarma, hoja 23-i cuadrante II*. Lima, Perú. Serie A: Carta Geológica del Perú.
- Dalmaurac, B., Laubacher. G., & Marocco, R. (1977). *Caractères généraux de l'evolution géologique des andes péruviennes*. Tesis Montpellier y Memoires ORSTOM.





- Dalmayrac, B. Laubacher, G., & Marocco, R. (1988). *Caracteres generales de la evolución geológica de los andes Perúanos*. Lima. Boletín, serie D, INGEMMET.
- Deschamps, F., Godard, M., Guillot, S., & Hattori, K. (2013). *Geochemistry of subduction zone serpentinites*. A review. p (96, 127, 178).
- Fanlo, I., Gervilla, F., Castroviejo, R., Carrascal, R., Rodrigues, F., Acosta, J., Pereira, E., & Uribe, R. (2010) *Metamorphism of chromitites in the Tapo Ultramafic Massif, Eastern Cordillera, Perú*. Revista Científica, Departamento de Mineralogía y Petrología and Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (Universidad de Granada - CSIC, España).
- GEOXNET. (s.f.). *Microscopía de minerales opacos*. Lima, Perú.  
<https://www.geoxnet.com/microscopia-optica/>
- Gonzales, R. (2010). *Estudio estructural de deformación poli orogénica de la región Acobamba - Tapo, distrito de Tarma, Andes Centrales Perúanos*. Lima, Perú. Tesis de Maestría.
- Grandin, G., Aumaitre, R., Huaman, A., & Vilca, C. (1977). *Exploración por rocas ultrabásicas en la cordillera oriental*. Acción conjunta, ORSTOM-INGEOMIN. Convenio 1973-1976, Informe Final, 3º Parte, p. 21.
- Hattori, K., & Guillot, S. (2007). *Geochemical character of serpentinites associated with high - to ultrahigh - pressure metamorphic rocks in the alps, cuba and the himalayans: recycling of elements in subduction zones*. Geochemistry Geophysics Geosystems, p. (8 - 9).
- INGEMMET. (s.f.). *Laboratorio de preparación de muestras*. Obtenido de [https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/servicios\\_productos\\_pm](https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/servicios_productos_pm).
- Jensen, L. (1976). *Ontario Division of Mines*. Canada.
- Megard, F., Caldas, J., & Paredes, J. D. (1996). *Geología de los cuadrangulos de Tarma, La Oroya y Yauyos*. Lima: INGEMMET. Boletín N° 69, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Miyashiro, A. S. (1969). *Composition and origin of serpentinites from the mid-atlantic ridge*.



- O'Hanley, D. S. (1991). *Fault-related phenomena associated with hydration and serpentine recrystallization during serpentinization*. Canada.
- Palacios, O. C. (1995). *Geología del Perú*. Lima, Perú. Boletín 55, serie A Carta, Geológica Nacional Geología del Perú.
- Palme, H., & O'Neill, H. (2004). *The mantle and core*. Oxford.
- Pearce, T. H., Gorman, B. E., & Birkett, T. (1977). *Earth and Planetary Science Letters*.
- PROVIAS NACIONAL, W. (s.f.). *RED VIAL NACIONAL*. Perú. Obtenido de <http://spwgm.proviasnac.gob.pe/webmap>.
- Ramdohr, P. (1969). *The ore minerals and their intergrowths*. London, Inglaterra.
- Rodríguez, J., Acosta, J., Castroviejo, R., Quispe, J., Romero, D., Uribe, R., & Campián, M. (2010) *Geología y estructura de las ultramafitas de Tapo y Acobamba (Tarma, Perú). Removilización tectónica andina de un segmento ofiolítico Pre-Andino*. Revista Científica de la Sociedad Geológica del Perú. XV Congreso Peruano de Geología p. (79 - 82)
- Rodríguez, R., Huachaca, C., & Orozco, Y. (2021). *Geología del cuadrangulo de La Oroya*. Lima, Perú. Boletín Serie L:Actualizacion Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000) N° 3.
- Salazar, E. (2015). *Geoquímica y mineralogía de los cuerpos serpentiniticos del complejo ofiolítico del centro sur de Chile*. Chile.
- SASPlanet. (s.f.). Obtenido de <https://sasplanet.geojamal.com/>.
- Scambelluri, M. F. (2004). *Serpentinite subduction: implications for fluid processes and trace-element recycling*. International Geology Review.
- Schouten, C. (1962). *Determinative tables for ore microscopy*. Amsterdam.
- Snow, J., & Dick, H. (1995). *Pervasive magnesium loss by marine weathering of peridotite*.
- Stewart, J., Evernden, J., & Snelling, N. (1974). *Age determinations from andean Perú. a reconnaissance survey*. Geol. Soc Amer. Vol 85.



- Tica, S. (2020). *Petrogénesis de los granitos del segmento Aricoma - Limbani (permo - triasico), sur del batolito de la cordillera oriental e implicancias en la ocurrencia de minerales estrategicos*. Puno, Perú. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional del Altiplano. Puno.
- Uribe, R. (2012). *Geología, petrografía y mineralogía del yacimiento de cromita de Tapo, Tarma - Perú*. Perú. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Urríola, M. (2020). *Evaluación mineralogica, física y mecánica de las rocas serpentinitas de ituango, ne de colombia, para su uso como roca ornamental*. Colombia. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA.
- Uytenbogaardt, W. (1971). *Tables for microscopc identification of ore minerals*. Amsterdam.
- Valencia, M., & Atencio, E. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrangulo de La Oroya (24-1)*. Lima, Perú. Boletín INGEMMET.
- Wicks, F., & Whittaker, E. (1975). *A reappraisal of the structures of the serpentine minerals*.





## ANEXOS



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Anibal Seminario Velarde Flores  
identificado con DNI 70323894 en mi condición de egresado de:

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

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

"Caracterización Petrográfica y Mineralográfica del ucaizo ultramáfico de  
Tapo, Sector Acobamba - Tarma.

" 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 15 de octubre del 2024

Anibal Velarde  
ANIBAL S. VELARDE FLORES  
FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Anibal Seminario Velarde Flores  
, identificado con DNI 70323894 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Geológica

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

Título Profesional denominado:

“Caracterización Petrográfica y Mineralográfica del macizo ultramáfico de Tapo, Sector Acobamba - Tarma”

” 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.

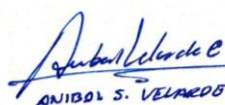
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de 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 15 de Octubre del 2024

  
ANIBAL S. VELARDE FLORES

FIRMA (obligatoria)



Huella