



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**Análisis petrográfico, mineralógico y de deformación
para determinar el emplazamiento del macizo
ultramáfico de San Luis. (Chinchao, Huánuco, Perú)**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Andres Eduardo CABANILLAS LOPEZ

ASESOR

Mg. Lourdes Janet QUIÑONES LAVADO

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cabanillas, A. (2025). *Análisis petrográfico, mineralógico y de deformación para determinar el emplazamiento del macizo ultramáfico de San Luis. (Chinchao, Huánuco, Perú)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Andres Eduardo Cabanillas Lopez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43695601
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-7451-0849
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Lourdes Janet Quiñones Lavado
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06798460
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4691-5209
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Javier Pablo Jacay Huarache
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08085704
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Andrés Yparraguirre Calderón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10293400
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Maritza Edith Campían Lazo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08604601

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.7. Mineralogía y Petrología
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Huanuco Provincia: Huanuco Distrito: Chinchao Latitud: -9.594947 Longitud: -76.040952
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2019 – Julio 2022
URL de disciplinas OCDE	Mineralogía https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.02 Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el martes 05 de agosto del año 2025 siendo las 6:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Mg. Javier Pablo Jacay Huarache
Mg. José Andrés Yparraguirre Calderón
Mg. Maritza Edith Campían Lazo

(Presidente de Jurado)
(Miembro de Jurado)
(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **ANDRES EDUARDO CABANILLAS LOPEZ**, quien sustentará la Tesis titulada: **"ANÁLISIS PETROGRÁFICO MINERALÓGICO Y DE DEFORMACIÓN PARA DETERMINAR EL EMPLAZAMIENTO DEL MACIZO ULTRAMÁFICO DE SAN LUIS. (CHINCHAO, HUÁNUCO, PERÚ)";** su asesora la docente **Mg. Lourdes Janet Quiñones Lavado**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A Satisfacción del Jurado

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

Diecisiete (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **ANDRES EDUARDO CABANILLAS LOPEZ**

Siendo las 7:00 pm horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 05 de agosto del 2025


MG. JAVIER PABLO JACAY HUARACHE
PRESIDENTE DE JURADO


MG. JOSÉ ANDRÉS YPARRAGUIRRE CALDERÓN
MIEMBRO DE JURADO


MG. MARITZA EDITH CAMPÍAN LAZO
MIEMBRO DE JURADO


MG. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO
MIEMBRO ASESOR



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Anexo 1

1. Facultad:

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

2. Escuela:

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad

Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

4. Apellidos y nombres de la autoridad académica

Dr. Ciro Sergio Bedia Guillen

5. Operador del programa informático de similitudes

Bedia Guillen Ciro Sergio / Cayo Serrano Alexandra

6. Documento evaluado

Tesis para obtención de título profesional.

7. Autor del documento

Cabanillas López, Andrés Eduardo

8. Fecha de recepción del documento

14/10/2022

9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes

18/10/2022

10. Software utilizado

Turnitin

11. Configuración del programa detector de similitudes

- a. Excluye textos entrecomillados
- b. Excluye bibliografía
- c. Excluye cadenas menores a 40 palabras

12. Porcentaje de similitudes según programa de detector de similitudes

Diez por ciento (10 %) de similitud.



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

13. Fuentes originales de las similitudes encontradas

“ANÁLISIS PETROGRÁFICO MINERALÓGICO Y DE DEFORMACIÓN PARA DETERMINAR EL EMPLAZAMIENTO DEL MACIZO ULTRAMÁFICO DE SAN LUIS. (CHINCHAO, HUÁNUCO, PERÚ)”

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uchile.cl

Fuente de Internet

5%

2

docslide.us

Fuente de Internet

1%

3

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

1%

6

id.scribd.com

Fuente de Internet

1%

7

ninive.ismm.edu.cu

Fuente de Internet

1%



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

14. Observaciones

Ninguna

15. Calificación de originalidad

Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

16. Fecha del informe

18/10/2022

Firma del evaluador:

Alexandra Cayo Serrano



DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN

DIRECTOR

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

DEDICATORIA

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento son para todas las personas que me apoyaron de alguna manera para realizar este trabajo. A la ingeniera Janet Quiñones Lavado por su asesoría, a mi madre por sus constantes deseos de que tenga un “cartón”, a mi señora Kimberly Tumialán por sus innumerables y constantes ayudas, a Jesús Carreño por ayudarme a pulir algunas imágenes, a la UNMSM por ser mi fuente de desarrollo profesional, a la empresa Anglo Peruana Terra, y un muy especial agradecimiento a mi gran amigo, el ingeniero Mario Díaz, por sus constantes y perennes conversaciones sobre geología, siempre tendré algo nuevo que aprender de ti.

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE FIGURAS Y TABLAS	vii
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos:	2
1.3. Justificación teórica y práctica de la Investigación.....	2
1.4. Objetivos de la Investigación	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes del Problema de Investigación.....	4
2.2. Bases Teóricas.....	4
2.2.1. Proceso de ascenso del magma y Emplazamiento	4
2.2.1.1. Obducción	9
2.2.2. Ofiolitas.....	9
2.2.2.1. Clasificación estructural.....	9
2.2.3. Petrografía de rocas ultramáficas	12
2.2.4. Procesos de Serpentinización.....	13
2.2.4.1. Asociaciones minerales	14
2.3. Marco conceptual o glosario de términos	16
CAPÍTULO 3: HIPOTESIS Y VARIABLES	18

3.1. Hipótesis General	18
3.2. Identificación de Variables	18
3.2.1. Variable Independiente	18
3.2.2. Variable Dependiente	18
3.3. Operacionalización de Variables.....	19
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	20
4.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	20
4.2. Unidad de análisis	20
4.3. Población de estudio	21
4.4. Tamaño de muestra	21
4.5. Selección de muestra.....	21
4.6. Técnicas de recolección de Datos	21
4.6.1. Cartografiado.....	22
4.7. Análisis e interpretación de la información	22
4.8. Etapas de investigación	22
4.8.1. Etapa de revisión bibliográfica y recopilación de información	23
4.8.2. Fase de campo	23
4.8.3. Etapa de laboratorio	23
4.8.4. Etapa de gabinete	24
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	24
5.1.1. Geología Regional.....	24
5.1.2. Petrografía y Mineralogía Microscópica.....	26
5.1.2.1. Textura	27
5.1.2.2. Minerales máficos	28
5.1.2.3. Serpentinización	30
5.1.2.4. Minerales opacos.....	34
5.1.3. Deformación.....	38

5.2. Pruebas de hipótesis	40
5.3. Presentación de resultados	41
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
6.1. CONCLUSIONES	43
6.2. RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	45
ANEXO.....	47

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio, mostrando las unidades morfoestructurales del Perú. Fuente INGEMMET, plataforma usada Geocatmin.	1
Figura 2 Ilustración diagramática de mecanismos propuestos para el emplazamiento de un plutón. 1- Endomamamiento del techo; 2- asimilación de rocas de las paredes, fusión parcial; 3- stoping (bloque colgante); 4- deformación dúctil de las rocas de las paredes y flujo de retorno de las paredes de roca; 5- desplazamiento lateral de las paredes rocosas por fallamiento o plegamiento; 6- (y 1)- emplazamiento en un ambiente extensional. (Winter, 2001)	6
Figura 3 Clasificación de rocas ultramáficas según (Le Maitre, 2002)	12
Figura 4: Mapa Geológico regional del área de estudio. Fuente: INGEMMET	25
Figura 5. Margen derecho del río Chinchao, vista panorámica de los afloramientos de rocas ultrabásicas en San Luis. Fuente: INGEMMET ..	26
Figura 6. Muestras (M04 y M07) de mano del MUSL, donde se puede observar las características variables.	26
Figura 7. Textura granoblástica en malla dado por minerales opacos (magnetita) (OPs) bosquejando los límites de los pseudomorfos de serpentinas (SPTs) según olivinos; el protolito es una peridotita tipo dunita. Luz transmitida, nicoles paralelos, muestra M04.	27
Figura 8. Textura holocristalina granular formada por cristales subhédricos de grano medio de olivinos (OLVs), ortopiroxenos (OPXs) y clinopiroxenos (CPXs). Luz transmitida, nicoles cruzados, muestra M06.	28
Figura 9.. Exsoluciones de clinopiroxenos (CPXs) en ortopiroxenos (OPXs). Luz transmitida, nicoles cruzados, muestra M06.	29
Figura 10. Textura holocristalina granular relíctica, donde se observa moldes de serpentinas (SPTs) según olivinos y piroxenos remanentes. Nótese serpentización de piroxenos restringido a fracturas (como en el círculo rojo). Luz transmitida. Nicoles cruzados, muestra M06.	31

Figura 11. Pseudomorfo de zoisita según máfico asociado a serpentinas (SPTs), presenta un borde de reacción. Luz transmitida, nicols cruzados, muestra M04.	32
Figura 12. Serpentinita compuesta esencialmente de serpentinas (SPTs) (>65%) y carbonatos (CBs) asociados. Además, una venilla de minerales opacos (OPs) (magnetita) cortando a las serpentinas. Luz transmitida, nicols cruzados, muestra M03.	32
Figura 13. Imagen del microscopio electrónico y espectro del talco de hábito fibroso y laminado presentando una distribución más o menos paralela de varios milímetros, ocurre en venillas asociado a magnetita de formas anhedrales de tamaños menores a 326.79µm.	33
Figura 14. Magnetita(mt) incipientemente reemplazada por hematita(hm) según planos de clivaje. Luz reflejada, nicols paralelos, muestra M04.	34
Figura 15: Venilla de serpentinas cortado y rellenado por minerales opacos que se orientan casi perpendicularmente a la venilla, nicols cruzados, muestra M07.	35
Figura 16. Espectro e imagen SEM de ferricromita. Nótese magnetita reemplazando a ferricromita en bordes y fracturas, como también diseminada en tamaños menores, muestra M06.	36
Figura 17. A) Cristal de pirrotita(po) con exsoluciones de pentlandita (pnt) reemplazado por pirita. Calcopirita(cpy) rellenando porosidades. B) Cristal de calcopirita (cpy) siendo reemplazado por goethita (goe) Luz reflejada, nicols paralelos, muestra M06.	37
Figura 18. Plano geológico de MUSL	38
Figura 19: Diagrama de Rosas. Se aprecia el sinclinal y anticlinal que están paralelos a la foliación	39
Figura 20: Según el estereograma las direcciones que están transversales a los pliegues presentan bajo ángulo, mientras que los que están en paralelos alto ángulo.....	39
Figura 21. Afloramiento de roca ultrabásica mostrando foliación.	40

Tabla 1: Clasificación de ofiolitas	11
Tabla 2: Operación de Variables	19
Tabla 3: Secuencia Paragenética	42

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es explicar el emplazamiento del Macizo Ultramáfico de San Luis (MUSL) ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes Peruanos, tomando como base a la determinación de las características petromineralógicas y estructurales de deformación del MUSL que guardan relación con el proceso geológico de emplazamiento.

La investigación que se ha desarrollado es de tipo correlacional con diseño no experimental ya que se determinará el grado de relación existente entre la variación de composición litológica (estructural, petrográfica y mineralógica) del MUSL y de las rocas que lo hospedan con los tipos de mineralización en el depósito MUSL.

La cartografía (**Figura 4**) y petrografía del MUSL muestra una distribución y composición casi homogénea; dentro la cual se han reconocido rocas ultrabásicas, pero no se ha reconocido una columna tipo ofiolita. Dentro de estas rocas la foliación es evidenciada por la disposición de la magnetita que preferentemente es paralela a la foliación de los gneises. Esto sugiere que las rocas ultrabásicas son afloramientos autóctonos y su emplazamiento es tipo sill, ya que el metamorfismo regional que dio origen a la única foliación afecto tanto a la roca encajonante (gneises) y las rocas ultrabásicas de la misma manera. Localmente se observan eventos distensivos que generan venillas polidireccionales de magnetita y talco removidos, quizás asociada a acumulación de sulfuros.

Palabras clave:

Rocas ultramáficas – Ofiolita - Petrografía – Serpentinización

ABSTRACT

The objective of the present study is to explain the emplacement of the Ultramafic Massif of 'San Luis' located in the oriental mountain range of the Peruvian Andes. Starting with the determination of the petromineralogical and structural characteristics of formation of the UMSL that are related with the geological process of emplacement.

The investigation that has been developed is correlational type with non-experimental design as the degree of existent relation will be determined between the variation of lithologic composition (structural, petrographical y mineralogical) of the UMSL and the rocks that host with the types of mineralization in the UMSL deposit

The cartography (**Figura 4**) and petrography of the UMSL shows a distribution and almost homogeneous composition in which ultrabasic rocks have been recognised, but the ophiolite type column hasn't yet. Inside these rocks the foliation is evidenced for the disposition of the magnetite that preferably is parallel to the foliation of the gneisses. This suggests that ultrabasic rocks are indigenous outcrops and their emplacement is sill type, because the regional metamorphism that gave rise to the only foliation affected the encasing rock (gneisses) as well as the ultrabasic rocks in the same way. Locally distensive events that generate polydireccional veins of magnetite y talco removed, maybe due to the acumulation of sulphides

Keywords:

Ultramafic rocks – Ophiolite - Petrography – Serpentinization

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El Macizo Ultramáfico de San Luis (MUSL) está ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes Peruanos a 6 km al NE del distrito de Chinchao, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco, ver **Figura 1**.

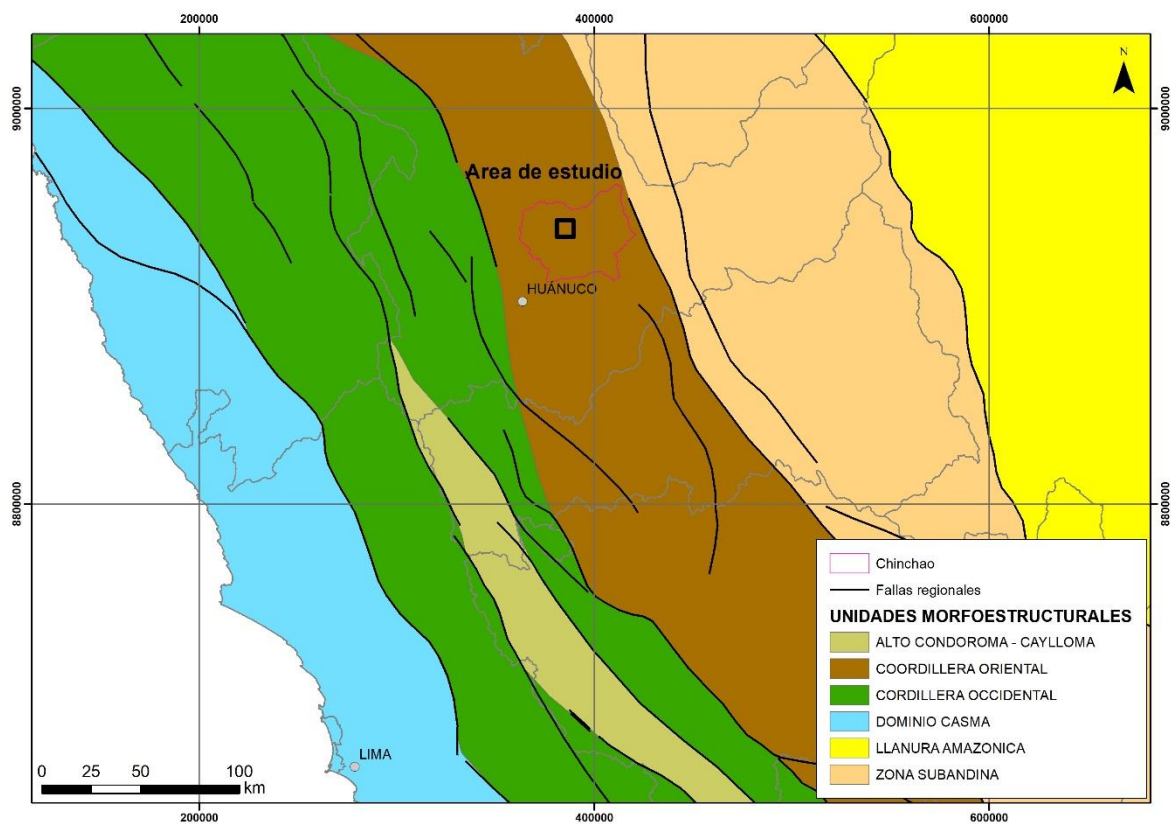


Figura 1. Ubicación del área de estudio, mostrando las unidades morfoestructurales del Perú. Fuente INGEMMET, plataforma usada Geocatmin.

1.1. Situación Problemática

En el Perú se conocen escasos macizos ultramáficos de dimensiones reducidas, el MUSL es uno de ellos, y sus posibles orígenes de acuerdo con las hipótesis

tradicionales son: (a) una corteza oceánica obducida o (b) una intrusión continental. De ser parte de una obducción sería evidencia de límites de placas, y de ser una intrusión continental sería evidencia de un adelgazamiento cortical. Se necesita explicar el emplazamiento de este macizo a través de análisis petrográficos y estructurales.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el análisis petrográfico, mineralógico y estructural aporta al conocimiento del posible origen del MUSL?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cuáles son las características generales del MUSL?
- ¿Cuáles son las características petrográficas y mineralógicas del MUSL?
- ¿Cuál es la característica estructural del MUSL?

1.3. Justificación teórica y práctica de la Investigación

Al no tener información científica detallada acerca del origen del MUSL, es necesario hacer una caracterización petromineralógica y observaciones de la deformación en el campo.

Es importante tener un mejor entendimiento de los macizos ultramáficos de la Cordillera Oriental, que pueden tener diversos orígenes.

Además, es importante motivar a geólogos e instituciones a considerar el estudio de macizos ultramarinos del Perú para aportar al conocimiento de estos.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Explicar el emplazamiento del MUSL

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir las características geológicas generales del MUSL.
- Determinar las características petromineralógicas del MUSL.
- Interpretar los esfuerzos estructurales relacionados a la deformación del MUSL.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema de Investigación

En el Perú se conocen escasos macizos ultramáficos, que ocurren en la Cordillera Oriental y son habitualmente de dimensiones reducidas. Estos macizos han sido interpretados tradicionalmente como resultado de la intrusión de un magma ultrabásico profundo, que típicamente se emplaza en sills y diques en las secuencias metasedimentarias y en otras litologías, a las que se atribuyó una edad supuesta precámbrica, al igual que a las intrusiones ultramáficas (Dalmayrac, 1970; Grandin & Zegarra, 1979).

Uno de los macizos ultramáficos en la Cordillera Oriental, Macizo Tapo, corresponde a un fragmento de secuencia ofiolítica desmembrada, cabalgante sobre los depósitos detríticos paleozoicos del Grupo Ambo (Castroviejo, y otros, 2010).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Proceso de ascenso del magma y Emplazamiento

Según Winter. 2021 las rocas ígneas intrusivas son simplemente magmas que no han llegado a superficie.

Cuando se forma magma por algún proceso de fusión en profundidad, es segregado del residuo no fundido para formar una masa líquida discreta. Esta masa

es menos densa que los sólidos circundantes, entonces flota; los minerales de menor punto de fusión son de menor densidad (félsicos). El cuerpo de magma flotante tiende a subir y si el material es lo suficientemente dúctil, asciende como un diapiro. Un diapiro es una masa móvil que asciende e intruye las capas sobreyacentes al hacerlo. Los diapiros se forman siempre que una masa de roca suficientemente dúctil es cubierta por rocas más densas que también son dúctiles. Los diapiros más comunes son los domos salinos que se forman porque la halita tiene baja densidad, y se comporta como material dúctil y fluye en condiciones de presión confinante baja. En condiciones de 5 a 10 km de sobrecarga las capas de sal empiezan a fluir y la superficie superior desarrolla abultamientos irregulares (**Figura 2**). El diapiro asciende lo suficiente sobre su fuente y cuando disminuye el aporte suficiente de sal la columna alimentadora se estrecha y contrae hasta que se separa de la fuente. La forma de gota invertida con la parte superior bulbosa y la inferior en forma de cola es característica de un diapiro ascendente. El diapiro se forma por flotación hasta un nivel donde su densidad es coincidente con las rocas circundantes.

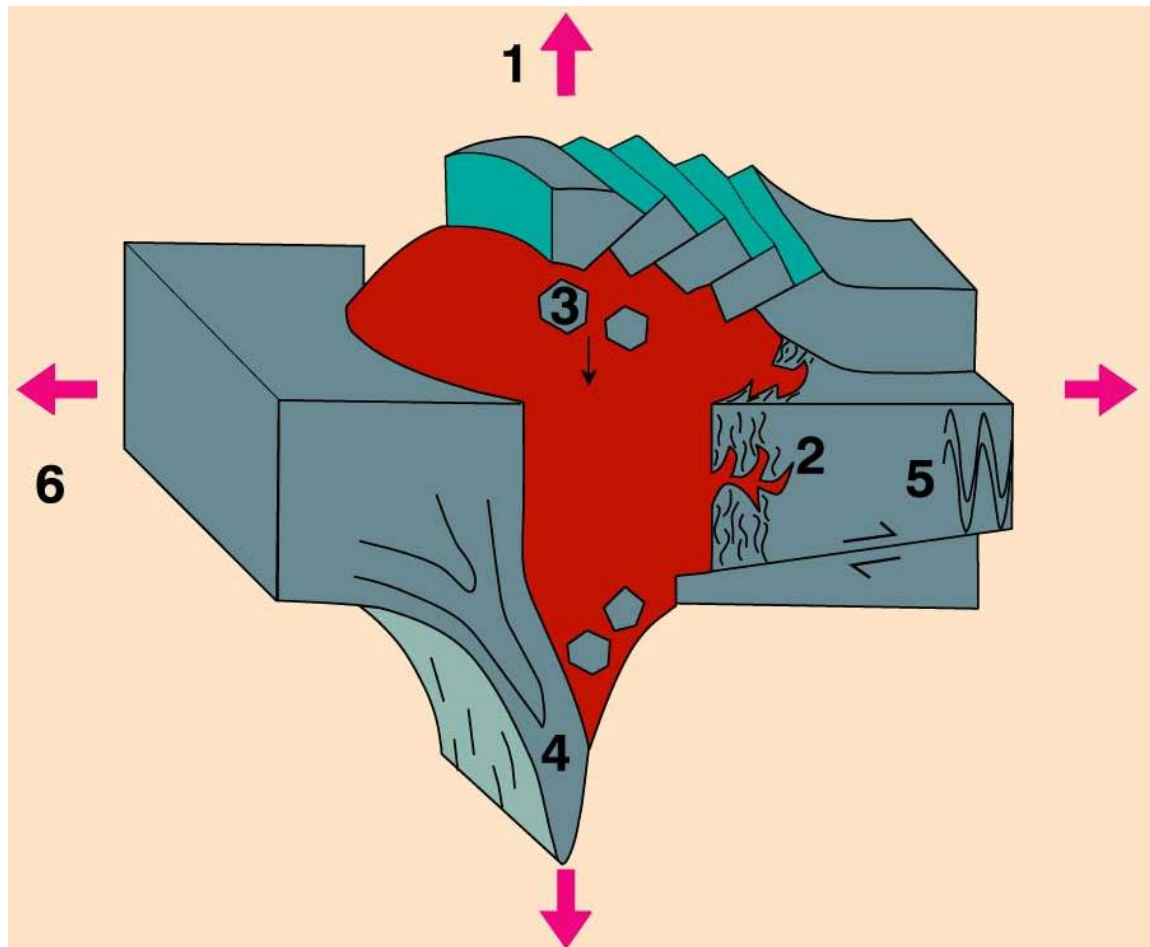


Figura 2 Ilustración diagramática de mecanismos propuestos para el emplazamiento de un plutón. 1- Endomamiento del techo; 2- asimilación de rocas de las paredes, fusión parcial; 3- stopping (bloque colgante); 4- deformación dúctil de las rocas de las paredes y flujo de retorno de las paredes de roca; 5- desplazamiento lateral de las paredes rocosas por fallamiento o plegamiento; 6- (y 1)- emplazamiento en un ambiente extensional. (Winter, 2001)

Se cree que los diapiros magmáticos se comportan de modo similar. Aquellos que se forman en el manto ascienden a través del manto dúctil. Mientras la viscosidad del magma y de las rocas de caja es bastante similar, ellos ascienden por distensión radial de la roca sobreyacente.

En las áreas de menor ductilidad, el manto superior y la corteza, el magma no puede ascender como diapiro. Allí debe aprovechar las fracturas y otras debilidades en la roca a través de las cuales asciende.

El método por el cual un cuerpo intrusivo grande se mueve hacia arriba a través de la corteza y crea suficiente espacio para sí mismo no está claro. Este es el problema del espacio que ha sido objeto de debates considerables durante décadas y aún es un problema enigmático.

Las fracturas abiertas y los vacíos están limitados a los ambientes muy someros cerca de la superficie. El magma ascendente puede seguir fracturas preexistentes y luego forzar desplazamientos de rocas formando las paredes fracturadas y luego seguir estos conductos planares.

En profundidad la habilidad del magma para forzar fracturas abiertas es limitada, ya que la presión de inyección del magma no es suficiente para desplazar rocas rígidas que están sometidas a presiones litostáticas. Por cierto, que en áreas sometidas a extensión regional las paredes de las fracturas no estarán sometidas a compresión y el magma las puede forzar y abrirlas. El número y amplitud de diques y sills en tales conductos llenados dependerá de la tasa de extensión y debe estar en relación con los ratios típicos de las placas tectónicas de ~ 3 a 8 cm/año.

El problema del espacio es más complicado para los cuerpos intrusivos grandes que ocupan volúmenes significativos y por tanto deberían haber desplazado volúmenes mayores de roca para luego desplazarse hacia arriba. La **Figura 2** resume los mecanismos propuestos mediante el cual un plutón genera espacio y asciende. Los plutones tales como los lacolitos, pueden levantar el techo (1 en **Figura 2**) ya sea por plegamiento o por elevación de bloques a lo largo de fallas. El levantamiento puede ser facilitado en tal caso por sobrepresión magmática que puede proveer presión adicional derivada de profundidad.

Alternativamente, el magma puede fundir el material que se encuentra en su ruta de ascenso. Proceso llamado asimilación (2 en **Figura 2**). La habilidad de fundir las

paredes usando el calor magmático es limitada por el calor disponible del magma y la cantidad de magma que puede penetrar en el primer lugar. Los magmas son por sí mismo típicamente generados por fusión parcial entonces raramente son super calentados, así no existe calor disponible en exceso.

Si las rocas de la caja son lo suficientemente frágiles, bloques del techo sobre el plutón ascendente son desprendidos, caen y hunden a través del magma (3 en **Figura 2**). Este proceso es denominado *stoping* (desprendimiento), término proveniente de las labores de minado. Se encuentra evidencia considerable de este proceso en las porciones superiores de muchos plutones donde los bloques de la roca caja están suspendidos en rocas ígneas cristalizadas como balsas o xenolitos. Este proceso es evidente donde se forman zonas con una alta concentración de fragmentos de roca caja o xenolitos en una matriz ígnea por inyección a lo largo de una red de fracturas. El proceso de *stoping* requiere que las rocas de la caja sean más densas que el magma. Es efectivo sólo en niveles superficiales de la corteza donde las rocas pueden ser fracturadas. La subsidencia en calderas y la formación de éstas son ejemplos de *stoping* a gran escala en profundidades someras.

Donde la roca de caja está cerca del punto de fusión en profundidad puede darse una combinación de asimilación y *stoping*, llamada zona de fusión. En este proceso los minerales de las rocas del techo se funden y cristaliza una cantidad equivalente de magma en el piso.

La deformación dúctil y el retorno del flujo hacia abajo (4 en **Figura 2**) son los mecanismos asociados con el ascenso de los diapiros a mayores profundidades y son probablemente eficientes donde la viscosidad de la roca caja es menor. En cualquier profundidad puede tener lugar el balonamiento o expansión radial de la cámara magmática por adición de magma desde abajo. Los estudios teóricos y

experimentales sugieren que el diapirismo y el balonamiento son efectivos cuando las viscosidades del plutón y de las paredes rocosas son similares.

2.2.1.1. Obducción

Es el proceso contrario a la subducción: el emplazamiento de ofiolitas sobre corteza continental. Representa un conjunto de procesos que llevan a las “placas de corteza exclusivamente continental” a colisionar, incrustándose una en otra y creciendo en extensión. La Obducción hace crecer a los continentes como un mosaico, al adherirse diferentes placas continentales a lo largo del tiempo.

2.2.2. Ofiolitas

Las ofiolitas representan trozos de manto superior o litósfera oceánica, que fueron incorporados en los márgenes continentales durante periodos de colisión continente–continente, arco–continente e interacciones dorsal–fosa y/o eventos de subducción–acreción (Dilek, 2003) y comúnmente son interpretadas como zonas de sutura y de colisión continental (Ishiwatari, Sokolov, & Vysotskiy, 2003).

De esta forma, (Dilek & Furnes, 2011) definen estos cuerpos como “fragmentos alóctonos de manto superior y corteza oceánica que son tectónicamente desplazados de su origen ígneo primario, como el resultado de la convergencia de placas”.

2.2.2.1. Clasificación estructural

La distribución de las ofiolitas en diferentes cinturones orogénicos refleja una relación espacio–temporal donde los diferentes grupos con rangos de edad similar,

corresponden a picos de producción y posterior obducción de litosfera oceánica. Estos se superponen en tiempo con eventos orogénicos que se relacionan a la formación de supercontinentes (Dilek & Furnes, 2011). En base a características estructurales, petrográficas y geoquímicas; (Dilek, 2003) y (Dilek & Furnes, 2011) sugieren la existencia de seis tipos de ofiolitas que se indican en la siguiente tabla.

TIPO	
Margen Continental	CARACTERISTICAS • Fragmentos de transiciones océano-continente (OCT) pobres en magma. • Manto subcontinental litosférico de lherzolita exhumado que yace directamente bajo lavas intruidas por pequeños plutones gabroicos y pocos diques maficos • Señal geoquímica de N-MORB
	AMBIENTE • Fases tempranas de la evolución de una cuenca oceánica, seguido de ruptura continental. • Son los productos de bajos grados de fusión o menos empobrecidas, manto litosférico subcontinental y ascenso astenosférico.
Mid-Ocean Ridge (MOR)	CARACTERISTICAS • Tiene una arquitectura estructural típica del tipo Penrose (particularmente en los centros de segmentos de dorsal) • Señal geoquímica de N-MORB, E-MORB
	AMBIENTE • Se pueden formar en plumas distales o proximales a “dorsales meso-oceánicas”, o trincheras-centros de expansión de cuenca tras arco distal.
Zona de Suprasubduccion (SSZ)	CARACTERISTICAS • Comúnmente tienen una arquitectura estructural tipo Penrose y pueden mostrar una secuencia de actividad ígnea MORB-IAT boninitica. • El rango de edad entre varias de sus subunidades es comúnmente menor a 10 Ma.
	AMBIENTE • Se forman en las placas extensionales superiores de zonas de subducción. • Ellas pueden evolucionar en cuencas trasarco extensionales, embriónicas, cuencas de antearco, arreglos de antearco, y cuencas trasarco continentales y oceánicas. • Resultan de corteza oceánica generada durante el cierre de una cuenca y marcan eventos mayores de subducción. • Se forman como el resultado de extensión de suelo oceánico en condiciones ensimáticas y ensiálicas.

Tipo Pluma (P)	CARACTERISTICAS
	• Secuencia plutónica y volcánica gruesa. • Patrón de elementos traza empobrecido (D-MORB) a enriquecido (E-MORB)
Tipo Arco Volcánico (VA)	AMBIENTE
	• Se pueden formar cerca de plumas-dorsal de expansión proximal y como una parte de plateau oceánico.
Tipo Arco Volcánico (VA)	CARACTERISTICAS
	• Arquitectura de corteza poligenética con un basamento oceánico deformado y viejo. • Corteza baja máfica compuesta de plutones gabroicos e intrusiones hipabisales. • Moderada a bien desarrollada corteza media de diorita-tonalita. • Rocas extrusivas de andesitas a riolitas y diques (localmente capas) formando la corteza superior. • Cobertera volcanoclástica (localmente subaérea). Firmas geoquímicas calcoalcalinas”
Tipo Acrecionario	AMBIENTE
	• Se forman en configuraciones de arco ensimáticos. • Difieren de SSZ basados en su espesor y desarrollo más completo de corteza de arco con composiciones calcoalcalinas. • El rango entre diferentes subunidades de la ofiolita en arcos volcánicos, son ofiolitas que pueden ser más viejas de 20 - 30 Ma.
Tipo Acrecionario	CARACTERISTICAS
	• Contiene fragmentos de cualquiera de las ofiolitas antes mencionadas. • Asociadas con sedimentos pelágicos a hemipelágicos y sedimentos de llenado de fosas que puede haber sido depositados antes o después de su incorporación al prisma de acreción. • Pueden tener diversos ensambles litológicos, grados metamórficos, y afinidades químicas no relacionadas entre ellos, porque son pedazos tectónicos de rocas oceánicas arrancados de las placas subductantes
Tipo Acrecionario	AMBIENTE
	• Complejos de acreción • Se vuelven progresivamente más jóvenes en el descenso estructural con la subducción-complejos acrecionarios

Tabla 1: Clasificación de ofiolitas

2.2.3. Petrografía de rocas ultramáficas

Las ofiolitas están constituidas predominantemente por rocas ultramáficas, principalmente de silicatos de hierro y magnesio, anhidros: olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno, ver **Figura 3**.

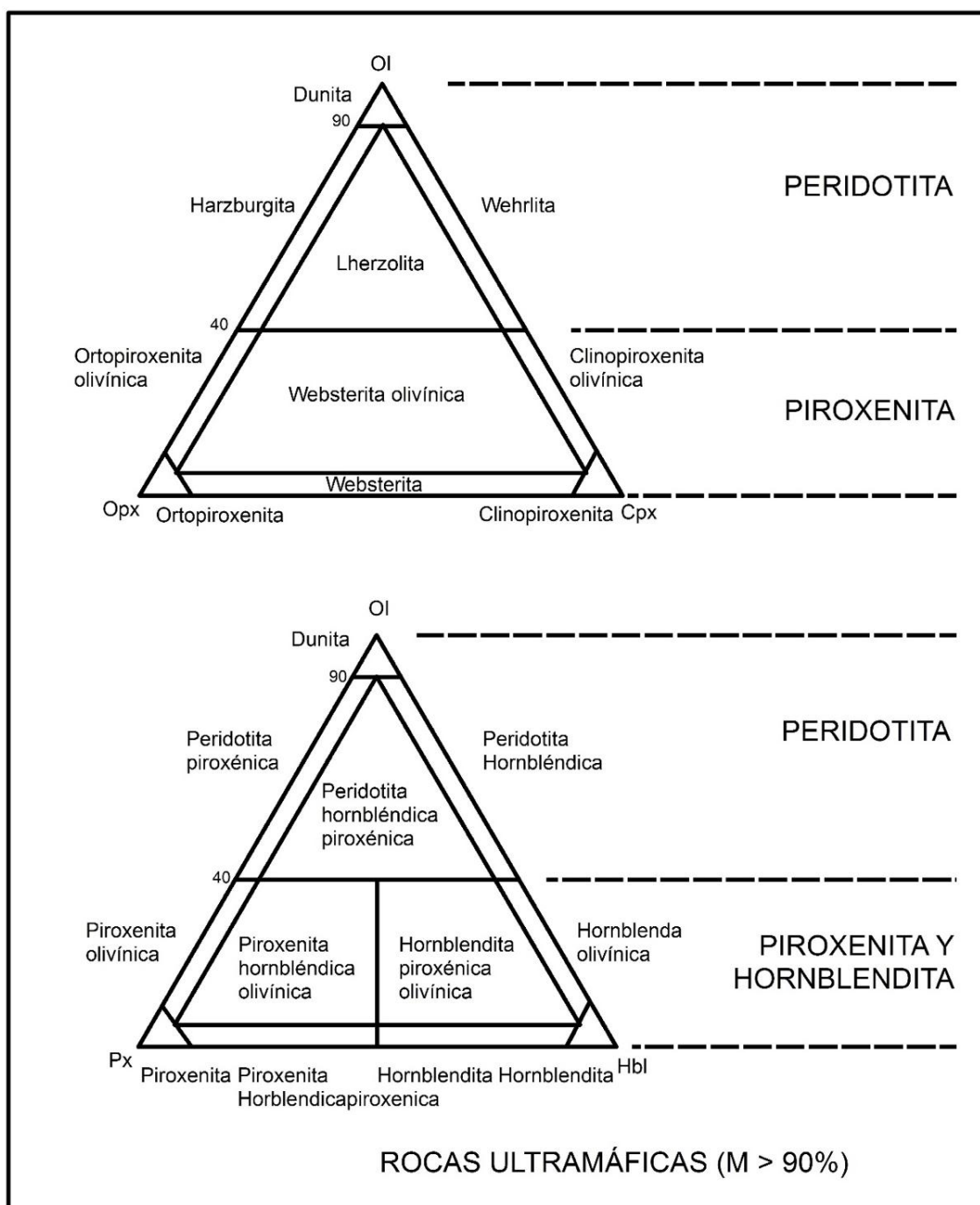


Figura 3 Clasificación de rocas ultramáficas según (Le Maitre, 2002)

2.2.4. Procesos de Serpentinización

La serpentinización de una roca ultramáfica consiste básicamente en la hidratación de la asociación mineral primaria, con una escasa lixiviación de los componentes químicos originales. Se discute si el proceso tiene lugar a volumen constante, a composición constante, o bien se realiza una combinación de ambos (Moody, 1976). De cualquier forma, sólo se requiere una introducción de agua en el sistema.

Las asociaciones minerales (principalmente serpentinas y de menor cantidad talco) y las texturas resultantes de la serpentinización de rocas ultramáficas dependen, fundamentalmente, del protolito original y del régimen térmico en el que haya tenido lugar la alteración. Es decir, si se han producido durante el descenso progresivo de la temperatura o si, por el contrario, el régimen térmico ha implicado un incremento de temperatura. En ambos casos, la presión tiene un papel secundario.

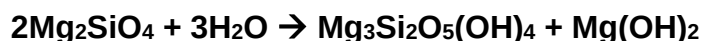
Se caracteriza por una trayectoria de metamorfismo retrogrado, es decir una hidratación progresiva de una roca ultramáfica fría (Bucher & Grapes, 2011). Este proceso de alteración secundaria de las rocas ultramáficas afecta en gran medida las propiedades físicas de la litósfera oceánica, tales como su densidad, magnetismo y comportamiento reológico, y ocurre bajo condiciones estáticas, en la mayoría de los casos (Mével, 2003). Uno de sus principales cambios está dado por la ganancia de volumen (cerca del 50%) y la pérdida de densidad de la roca que pasa de 3.3 g/cm³ a 2.7 g/cm³, mientras el hierro ferroso se oxida a férrico para formar magnetita (Fe₃O₄) (Hekinian, 1982; Bach, Garrido, Paulik, Harvey, & Rosner, 2004; Bach, et al., 2006; Jamtveit & Austrheim, 2010; Bucher & Grapes, 2011).

2.2.4.1. Asociaciones minerales

Las rocas ultramáficas están constituidas por olivino con ortopiroxeno y/o clinopiroxeno. En menores cantidades pueden contener también espinela cromífera, granate, plagioclasa, anfíbol, flogopita y, en cantidades de trazas, sulfuros de Fe-Ni-Cu como pirrotita, pentlandita y calcopirita. La estabilidad de la asociación primaria durante la serpentinización varía fuertemente con la mineralogía. Así, entre los minerales mayoritarios, el olivino se altera mucho más rápidamente que los piroxenos y, entre éstos, el ortopiroxeno es el que se serpentiniza con mayor facilidad (Moody, 1976). Por consiguiente, una roca ultramáfica tenderá a serpentinizarse tanto más cuanto mayor sea su contenido en olivino, lo cual implica que, en un macizo ultramáfico, las dunitas se alteran más fácilmente que las lherzolitas. (ver **Figura 3**)

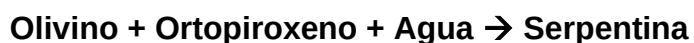
Si los silicatos anhidros que forman las rocas ultramáficas llegan a reaccionar con el agua, de modo isoquímico, se forman diferentes minerales del grupo de la serpentina (Hekinian, 1982; Bach, Garrido, Paulik, Harvey, & Rosner, 2004; Bach, et al., 2006; Marchesi, Garrido, Padrón-Navarta, Lopez, & Gómez-Pugnaire, 2013).

En un rango de temperaturas de 350 a 400°C el olivino puede reaccionar con agua para producir serpentina y como subproducto brucita de acuerdo con la siguiente reacción:



Olivino + Agua → Serpentina + Brucita

Asumiendo una razón de 1:1 de olivino y piroxeno, la reacción se podría expresar así:



La serpentina presenta básicamente tres polimorfos con una composición muy similar, presentes en la peridotita alterada de acuerdo con las condiciones de metamorfismo hidrotermal que ésta haya alcanzado. Los minerales del grupo de la serpentina que se llegan a producir durante la hidratación del olivino son lizardita, crisotilo y antigorita. La lizardita y el crisotilo se pueden formar a temperaturas menores a 350°C (Hekinian, 1982), representando serpentinas de baja temperatura. La antigorita es el polimorfo estable a temperaturas más elevadas (> 500°C) (Bucher & Grapes, 2011).

La alteración del olivino se inicia mediante la nucleación y el crecimiento de serpentina a lo largo de bordes de grano y fracturas. El desarrollo del proceso provoca la fragmentación de los cristales originales, dando lugar a una malla de serpentina que rodea, bien granos aislados de olivino o bien, en un estado más avanzado, agregados de cristales de serpentina. En la malla externa, los cristales tienden a disponerse perpendicularmente a los centros. Este tipo de texturas se denominan en malla, con independencia de la mineralogía y textura de los centros de tales mallas.

La magnetita se forma durante la serpentinización a partir del hierro contenido previamente en el olivino, dada la escasa afinidad de este elemento por la estructura de la serpentina.

La alteración de los piroxenos se desarrolla inicialmente a lo largo de bordes de grano y fracturas, y prosigue siguiendo los planos de exfoliación. El resultado final suele ser la pseudomorfización de los cristales de piroxeno originales por serpentina. Muy raramente se forman texturas malladas. Estos pseudomorfos reciben el nombre de bastita.

La espinela cromífera suele ser reemplazada por magnetita o por otra espinela de composición intermedia entre la espinela cromífera y la magnetita, denominada ferricromita. La plagioclasa y la flogopita suelen alterarse previamente a la serpentización a otros inosilicatos y/o filosilicatos con grupos OH, como anfíbol, clorita y talco, los cuales se serpentizan posteriormente, dando lugar a bastitas indiferenciables de las originadas por el reemplazamiento de piroxeno (Wicks & Whittaker, 1977).

2.3. Marco conceptual o glosario de términos

- Obducida: es el proceso contrario a la subducción: el emplazamiento de ofiolitas sobre corteza continental.
- Sills: del inglés, es una masa tabular de roca ígnea, con frecuencia horizontal, que ha intruido lateralmente entre dos capas antiguas de roca sedimentaria, capas de lava volcánica o toba volcánica, o a favor de la foliación en rocas metamórficas.
- Metasedimentarias: roca sedimentaria que muestra evidencias de haber sido sometida a metamorfismo.
- Litostática: presión del peso de la sobrecarga, o roca suprayacente, sobre una formación; también denominada presión geostática.

- Diapirismo: también llamado halocinesis, es el proceso de ascensión tectónica de una roca poco densa y plástica a través de rocas suprayacentes más densas y recientes.
- Isoquímico: Término utilizado para describir procesos metamórficos en los que no tiene lugar una introducción de material procedente de una fuente externa.
- Serpentinización: proceso que afecta a rocas ultrabásicas y básicas, en las que los minerales primarios, fundamentalmente los olivinos, son transformados por acción de fluidos ricos en Mg y metales pesados a temperaturas entre 200 y 500°C dando lugar a minerales más estables.
- Hipidiomórficas: Término utilizado para describir la textura de una roca en la que los granos minerales presentan alguna traza de forma cristalina.
- Máfico: es un adjetivo que se aplica a un silicato o roca que es rico en magnesio y hierro.
- Inflexión: Curvatura, desviación o torcimiento de una cosa recta o plana.

CAPÍTULO 3: HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis General

Las características petromineralógicas y estructurales de deformación del Macizo Ultramáfico de San Luis guardan relación con el proceso geológico de emplazamiento.

3.2. Identificación de Variables

3.2.1. Variable Independiente

Proceso tectónico y tipo de emplazamiento.

3.2.2. Variable Dependiente

Características petromineralógicas y de estructuras de deformación del MUSL.

3.3. Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Valor intermedio	Valor Final
Dependiente Características petromineralógicas y de deformación del MUSL	Las litologías y deformaciones son el resultado de la evolución de sistemas físico-químicos, desarrollados como consecuencia directa de la actividad geológica endógena y exógena	Es la variación de relaciones mutuas entre cristales, composición modal de los minerales y composición química de los elementos en las rocas	Características petrográficas	Textura	Tamaño y forma de cristales estructura (hipidiomórfica)	Normal	Fanerítica, afanítica, porfídica, matriz sostenida, grano sostenida, granoblástica	Clasificación petrográfica (gabros, peridotitas, serpentinitas)
				Minerales formadores de roca	% de minerales (cuarzo, feldespatos potásicos, biotitas, anfíboles, calcita, granates, wollastonita)	De intervalo	Σ 100 (%)	
			Características de deformación	Foliación	Rumbo y buzamiento	De intervalo	Deformación pre, intra o post emplazamiento	Naturaleza de la deformación
Independiente Proceso tectónico y tipo de emplazamiento	Los diferentes tipos de rocas ígneas se emplazan en la corteza terrestre por procesos geológicos controlados por un ambiente tectónico	Las condiciones de emplazamiento de roca ígnea están definidas por las características petromineralógicas (minerales y relación entre ellos) y de deformación	Emplazamiento	Tipo de deformación	Textura y relaciones de contacto/corte	Nominal	Deformación pre, intra o post emplazamiento	Corteza oceánica o intrusión continental
				Mineralogía (alteración y mena)	Minerales	Nominal	Nombre según sistemática	
				Ensamblajes de alteración	Asociación de minerales / Intensidad	Nominal / De proporción	Serpentinización, Magnetización / Fuerte, moderada, débil	
				Procesos termodinámicos	Temperatura * / pH* / Eh* *interpretado de la mineralogía	Nominal	Temperatura; alta, intermedia, baja / pH; ácido, neutro, básico / Eh, oxidado, reducido	

Tabla 2: Operación de Variables

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1. Tipo y Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es **no experimental**, descriptiva y de tipo **correlacional** ya que se determinará el grado de relación existente entre la variación de composición litológica (estructural, petrográfica y mineralógica) del stock MUSL y de las rocas que lo hospedan con los tipos de mineralización en el depósito MUSL. La investigación permitirá analizar hasta qué punto los tipos de mineralización dependen de las variaciones de composición litológica del stock y de las rocas que lo hospedan.

Se analizará sistemáticamente la información acerca de las características de la geología del depósito.

4.2. Unidad de análisis

El objeto de interés de la investigación corresponde al MUSL. Ubicado en Chinchao, Huánuco.

4.3. Población de estudio

La población de estudio serán las muestras de mano, además se tomarán datos estructurales de campo (orientación de fracturas y venillas) del MUSL.

4.4. Tamaño de muestra

Se tomarán muestras representativas (aleatorias) de cada unidad reconocidas en campo de mano para estudio macroscópico, 15 muestras para estudios microscópicos, 2 muestras para estudios de microscopia electrónica de barrido del MUSL.

4.5. Selección de muestra

Se tomarán muestras de mano de todas las facies identificadas, y se seleccionarán algunas para estudios microscópicos que sean representativas de cada facie que cubran todo el MUSL, si algunos minerales no pueden ser identificados bajo el microscopio se analizarán por microscopia electrónica de barrido.

4.6. Técnicas de recolección de Datos

La técnica de investigación será del tipo observacional ya que se observará el MUSL, las rocas que la conforman, se recolectarán muestras de mano de los afloramientos de cada

unidad y registrará información para su posterior análisis, con lo que se elaborará conclusiones.

4.6.1. Cartografiado

Técnica directa y de campo donde se diferenciará las diferentes facies (secuencias intrusivas) del MUSL, así como las rocas que lo hospedan. Se hará a escala 1/20,000 y se tomará en cuenta los aspectos petrográficos.

En esta técnica directa y de laboratorio se recolectarán muestras de manos del MUSL, de las rocas que lo conforman, para estudios petrográficos y mineragráficos bajo el microscopio de polarización y microscopía electrónica de barrido.

4.7. Análisis e interpretación de la información

Se usarán programas de sistemas de información geográfica (*ArcGIS*) elaborando mapas y gráficos que también estarán acompañados por fotos que sustentarán las interpretaciones y conclusiones.

4.8. Etapas de investigación

La ejecución de este estudio se ha dividido en cuatro fases, con el fin de lograr un trabajo ordenado y consecuente con cada una de las etapas de desarrollo de esta investigación.

4.8.1. Etapa de revisión bibliográfica y recopilación de información

En esta etapa, se recopiló toda la información posible en relación a los objetivos que se pretenden resolver en este trabajo. Asimismo, se realizó una fotointerpretación del área de estudio, con el fin de identificar posibles estructuras y establecer posibles relaciones geomorfológicas.

De acuerdo con los antecedentes recopilados se realizó una planificación de las actividades a desarrollar para cumplir con los objetivos de este estudio.

4.8.2. Fase de campo

Esta fase consistió en el reconocimiento de las diferentes litologías y estructuras del área de estudio, con el fin de definir sus relaciones de campo. De esta forma, se obtuvieron datos de las características de las rocas y se recolectaron datos de orientación de la foliación de las rocas, tanto de la roca caja como de afloramientos de rocas ultramáficas con el uso de brújula azimutal Brunton; además se registró la ubicación de estos datos con el GPS62S Garmin. También se tomó muestras de mano representativas de cada unidad descrita para caracterización mineralógica.

4.8.3. Etapa de laboratorio

Las muestras recogidas en campo fueron destinadas para:

Petrografía microscópica: Se elaboraron nueve secciones delgadas y pulidas para determinar las características petrográficas de las distintas litologías. Este estudio se

realizó en el Área de Petromineragrafía de Anglo Peruana Terra S.A., utilizando el microscopio Meiji Techno modelo ML9430, con el cual se tomaron fotomicrografías usando una cámara marca Nikon modelo Coolpix S4100.

Análisis químico puntual: En dos secciones pulidas se hizo análisis con el microscopio electrónico de barrido - espectrómetro de energía dispersiva. Este análisis de silicatos y cromitas de las rocas ultramáficas lo realizó la Ing. Gladys Ocharán de Microscopia Electrónica y Aplicaciones en el Perú S.A.C.

4.8.4. Etapa de gabinete

Para la elaboración de los diagramas estructurales se utilizó el programa *ioGAS* y para la elaboración de los planos topográfico y geológico se utilizó el programa *ArcGIS* 10.5.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5.1.1. Geología Regional

Las rocas ultrabásicas del área de estudio ocurren en el Complejo Metamórfico del Marañón, constituido esencialmente por gneises y esquistos de edad precámbrica, ver **Figura 4**; dichas rocas ultrabásicas afloran en una faja más o menos continua de dirección NNE-SSO de aproximadamente 4 km de longitud, que abarca desde el Río San Luis Grande hasta el Río Villa Gloria, y hasta 0.3 km de ancho en los cerros de San Luis, ver **Figura 5**.

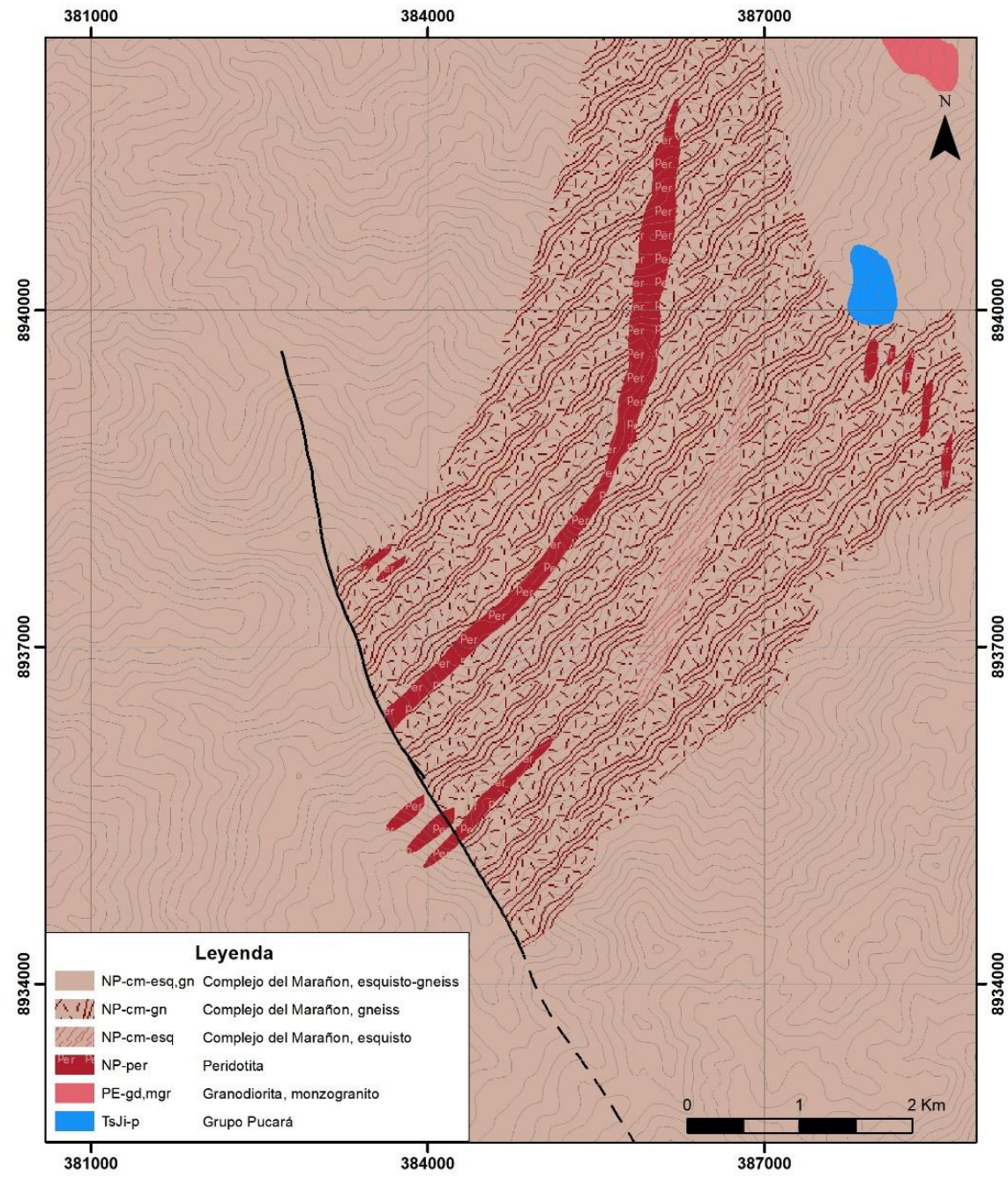


Figura 4: Mapa Geológico regional del área de estudio. Fuente: INGEMMET

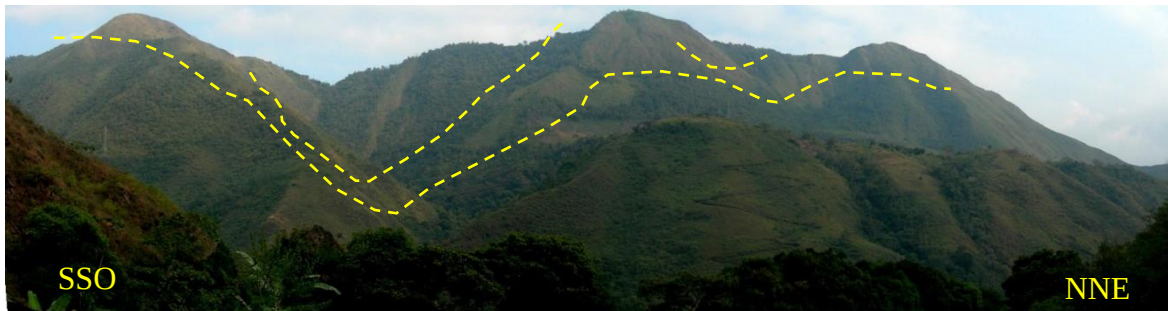


Figura 5. Margen derecho del río Chinchao, vista panorámica de los afloramientos de rocas ultrabásicas en San Luis. Fuente: INGEMMET

Las características de las rocas del MUSL son variables tanto en textura, cantidad de minerales máficos, intensidad de serpentinización, magnetita y sulfuros (**Figura 6**).

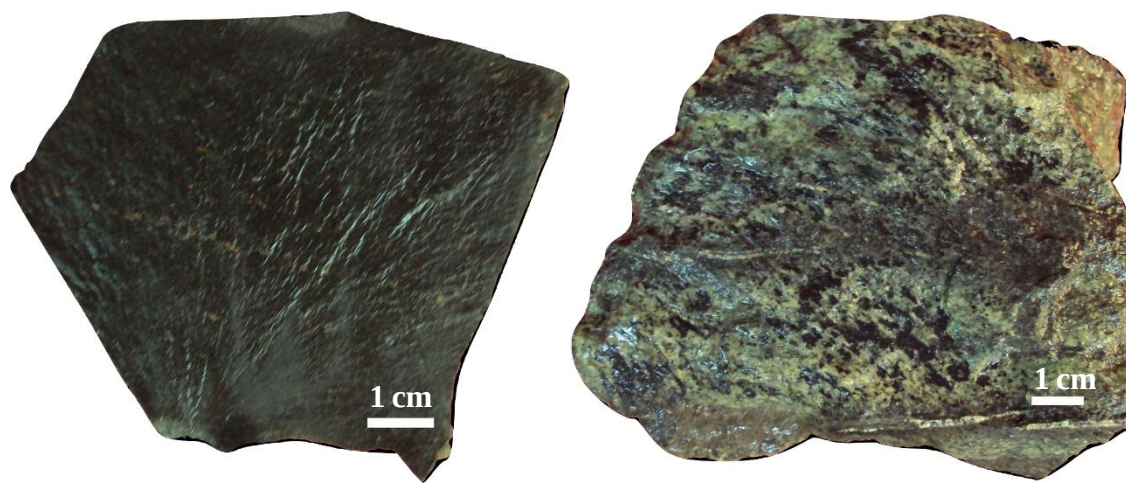


Figura 6. Muestras (M04 y M07) de mano del MUSL, donde se puede observar las características variables.

5.1.2. Petrografía y Mineralogía Microscópica

Las rocas observadas en el MUSL frecuentemente se encuentran muy serpentinizadas generalmente de colores verdosos por la abundante presencia de serpentinas y fuertemente magnéticas por la presencia de magnetita, presentando textura granoblástica, frecuentemente con venillas de talco. Cuando las rocas están inalteradas

tienen un índice de color muy alto (>75%) por la cantidad de minerales máficos (olivinos, presentando texturas faneríticas de grano medio.

5.1.2.1. Textura

Principalmente se observa texturas metamórficas del tipo granoblástica poligonal en malla según pseudomorfos (**Figura 7**) que corresponden a peridotitas serpentinizadas, pero localmente como remanentes se puede observar texturas ígneas del tipo holocristalina granular hipidiomórfica de grano medio (**Figura 8**) que corresponde a piroxenitas.

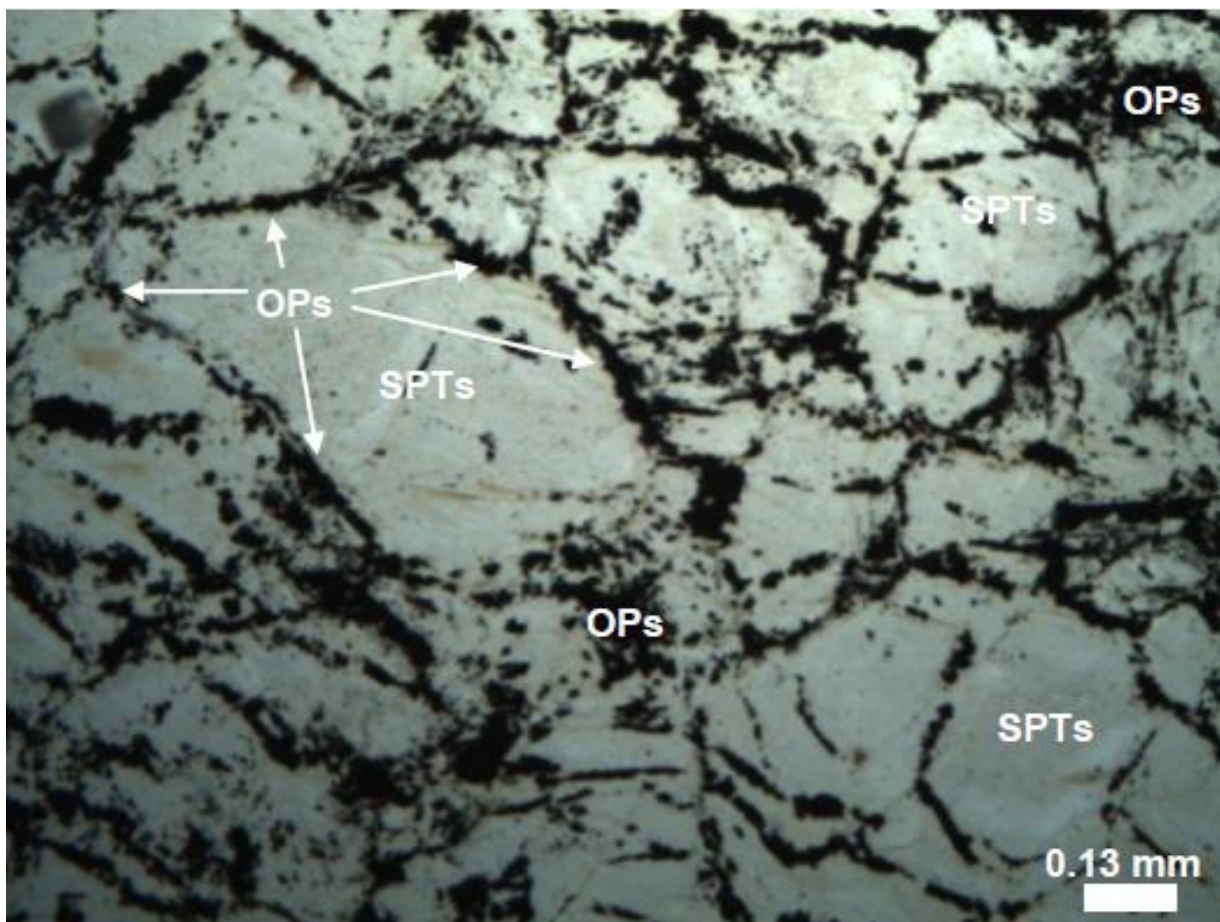


Figura 7. Textura granoblástica en malla dado por minerales opacos (magnetita) (OPs) bosquejando los límites de los pseudomorfos de serpentinas (SPTs) según olivinos; el protolito es una peridotita tipo dunita. Luz transmitida, nicoles paralelos, muestra M04.

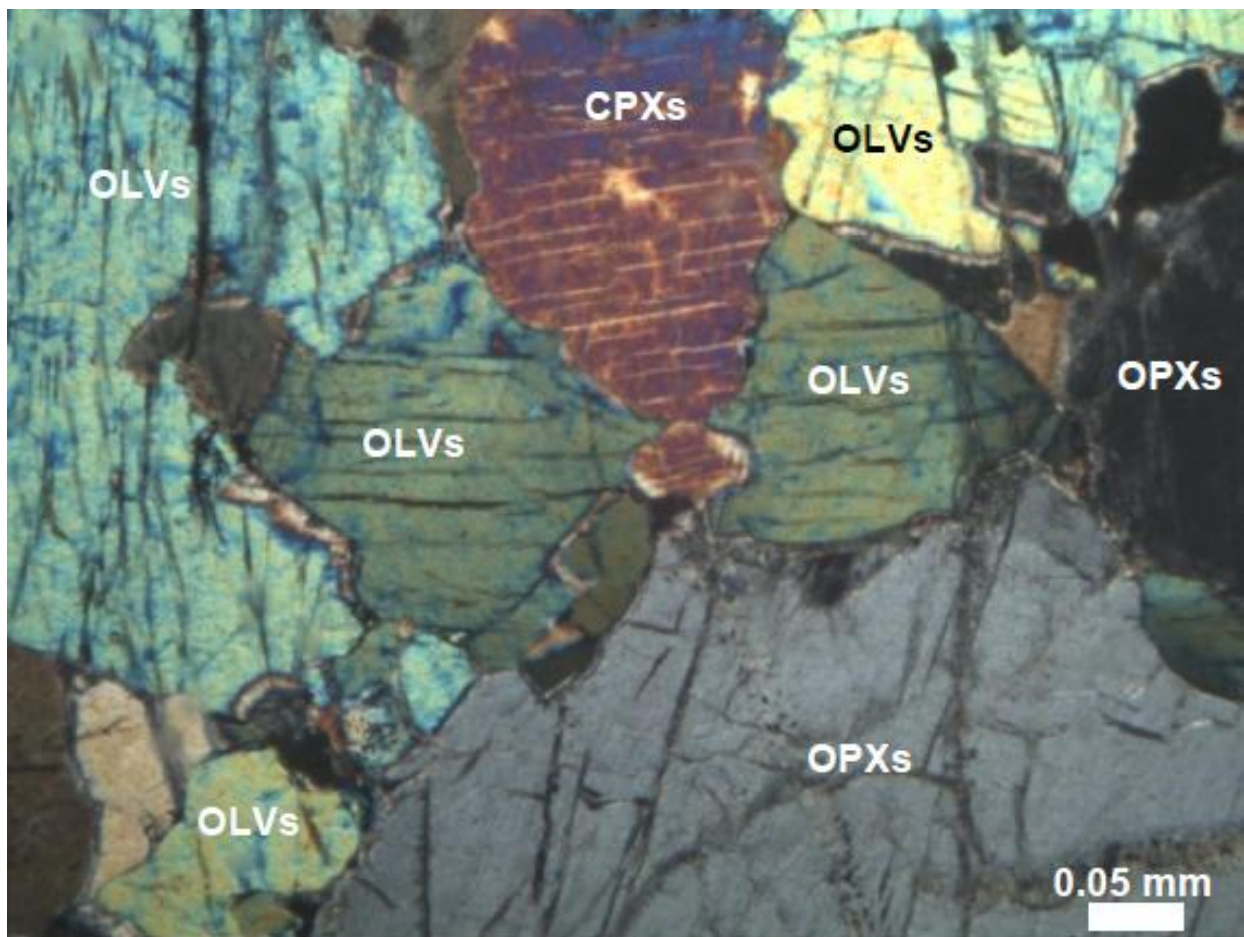


Figura 8. Textura holocristalina granular formada por cristales subhédricos de grano medio de olivinos (OLVs), ortopiroxenos (OPXs) y clinopiroxenos (CPXs). Luz transmitida, nicoles cruzados, muestra M06.

Se concluye que la roca es una piroxenita tipo websterita olivínica (ver **Figura 3**).

5.1.2.2. Minerales máficos

Clinopiroxenos, como cristales subhédricos de hábito prismático corto, incoloros, clivaje en dos direcciones que forman casi 90°, colores de interferencia del segundo orden y extinción oblicua. También ocurren como exsoluciones en ortopiroxenos (**Figura 9**).

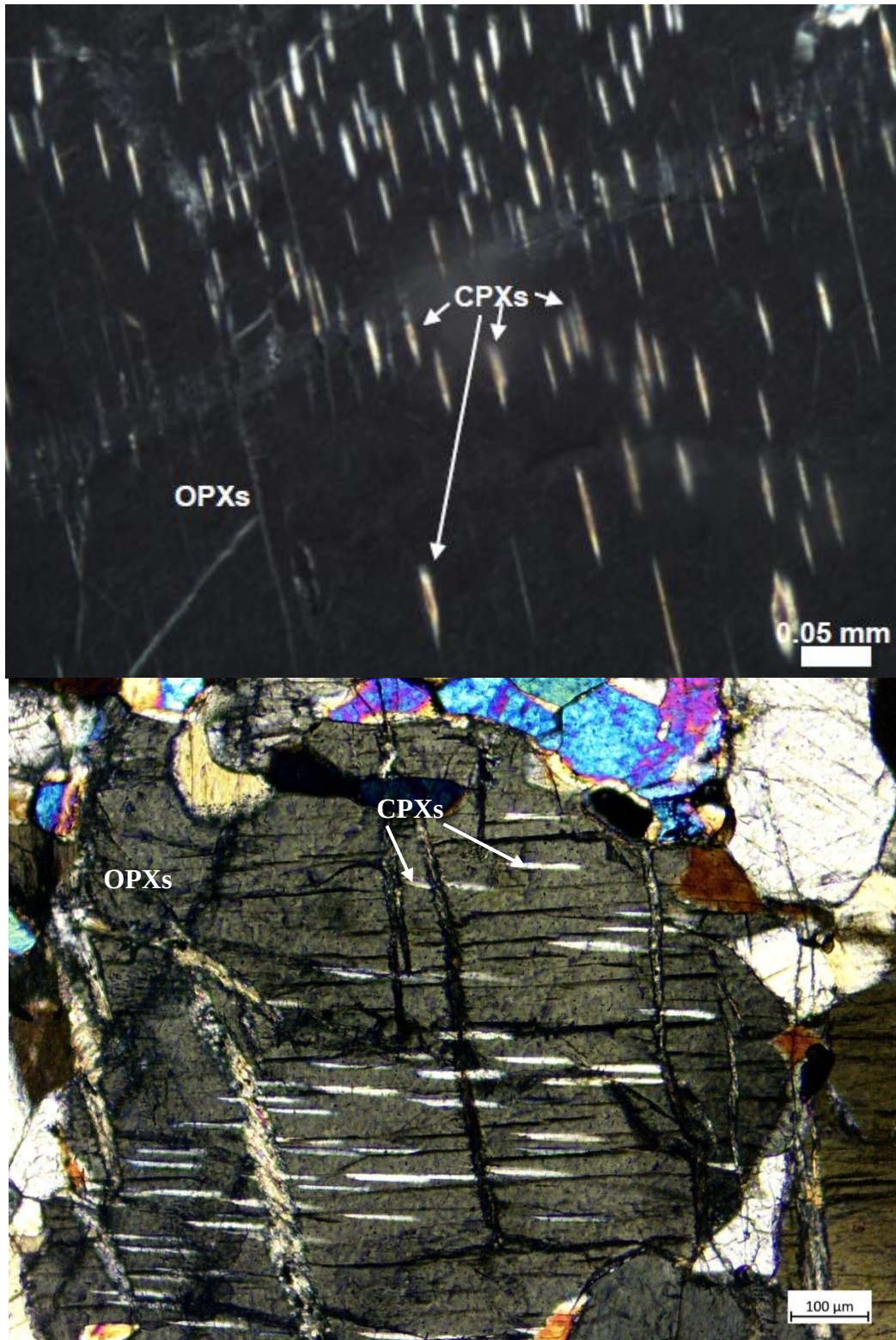


Figura 9.. Exsoluciones de clinopiroxenos (CPXs) en ortopiroxenos (OPXs). Luz transmitida, nicoles cruzados, muestra M06.

Olivinos, cristales anhedrales, incoloros, fracturas irregulares y colores de interferencia de hasta el tercer orden. También ocurren intersticialmente entre los piroxenos.

Ortopiroxenos, como cristales subhédricos de hábito prismático corto, incoloros, clivaje en dos direcciones que forman casi 90°, colores de interferencia del primer orden y extinción paralela. Algunos con exsoluciones de clinopiroxenos. (**Figura 9**).

5.1.2.3. Serpentinización

La intensidad de la serpentinización depende de la reactividad a la hidratación del mineral máfico, se observa que rocas con mayor cantidad de olivino presentan mayor grado de serpentinización (**Figura 7**) y rocas con mayor cantidad de piroxenos presentan menor grado de serpentinización o inalteradas (**Figura 8**). Se observa rocas con un grado de serpentinización intermedio donde se aprecia que los olivinos están totalmente alterados quedando como remanentes los piroxenos (**Figura 10**).

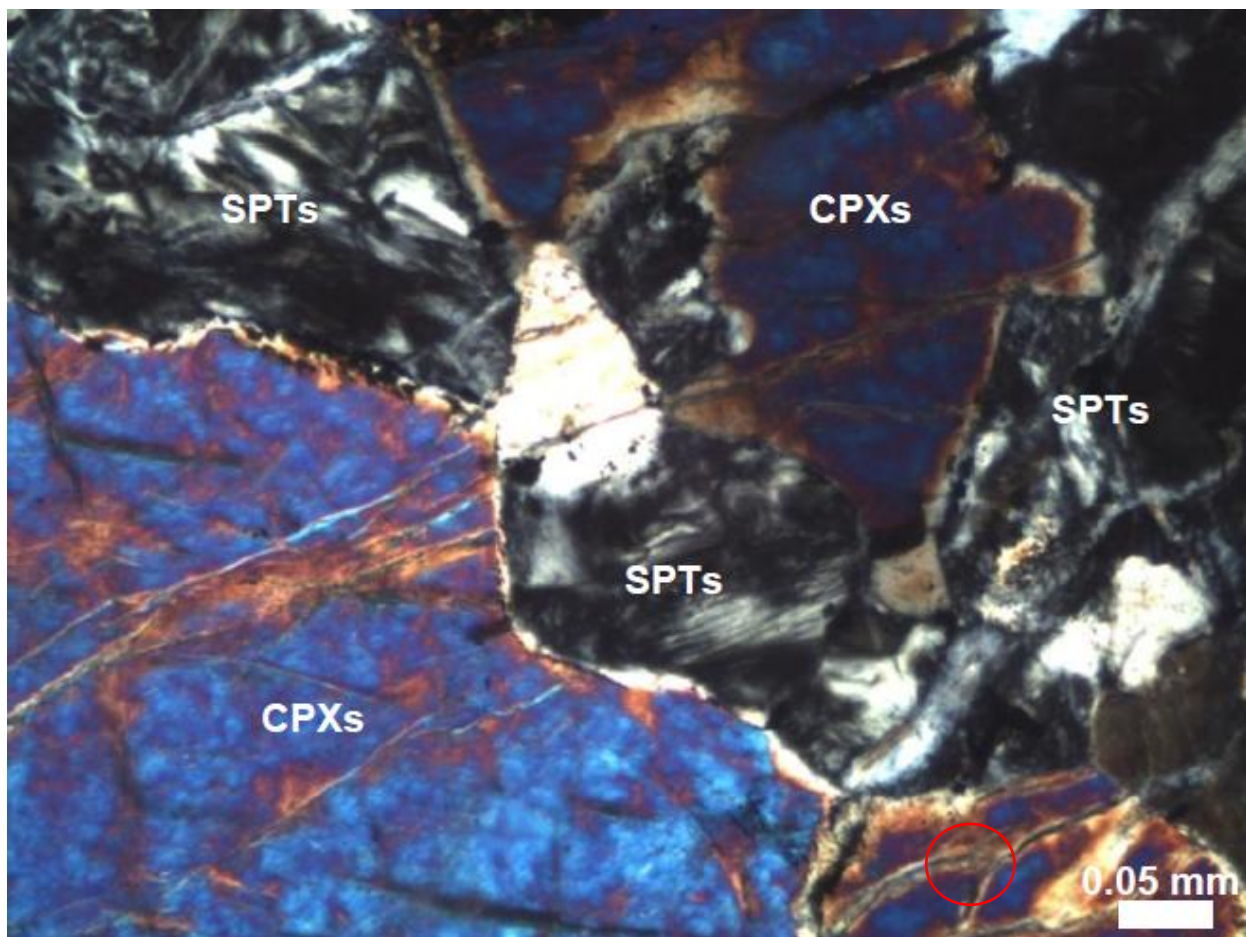


Figura 10. Textura holocristalina granular relíctica, donde se observa moldes de serpentinas (SPTs) según olivinos y piroxenos remanentes. Nótese serpentización de piroxenos restringido a fracturas (como en el círculo rojo). Luz transmitida. Nícoles cruzados, muestra M06.

Esporádicamente se observa zoisita (**Figura 11**) y carbonatos (**Figura 12**) asociados a la serpentización, y con mucha frecuencia venillas de talco (**Figura 13**).

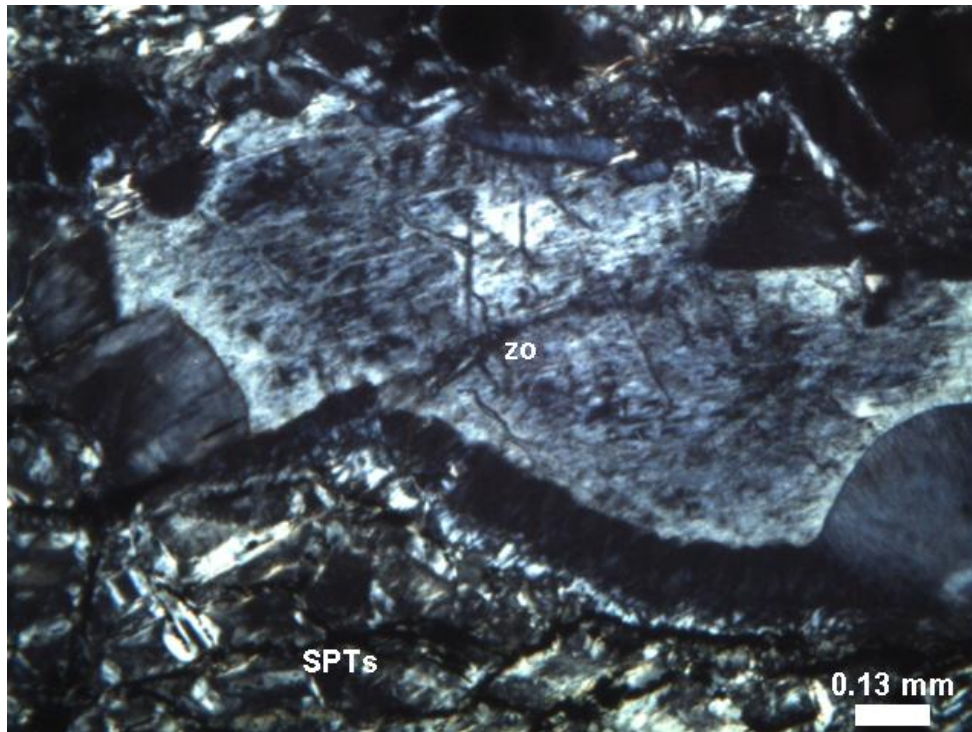


Figura 11. Pseudomorfo de zoisita según máfico asociado a serpentinas (SPTs), presenta un borde de reacción. Luz transmitida, nicoles cruzados, muestra M04.

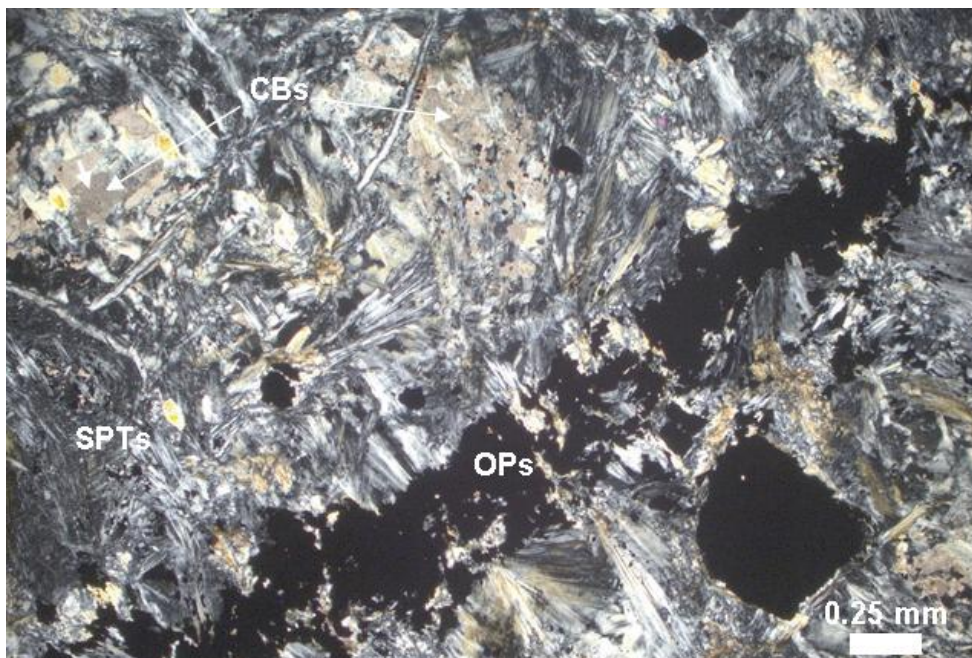


Figura 12. Serpentinita compuesta esencialmente de serpentinas (SPTs) (>65%) y carbonatos (CBs) asociados. Además, una venilla de minerales opacos (OPs) (magnetita) cortando a las serpentinas. Luz transmitida, nicoles cruzados, muestra M03.

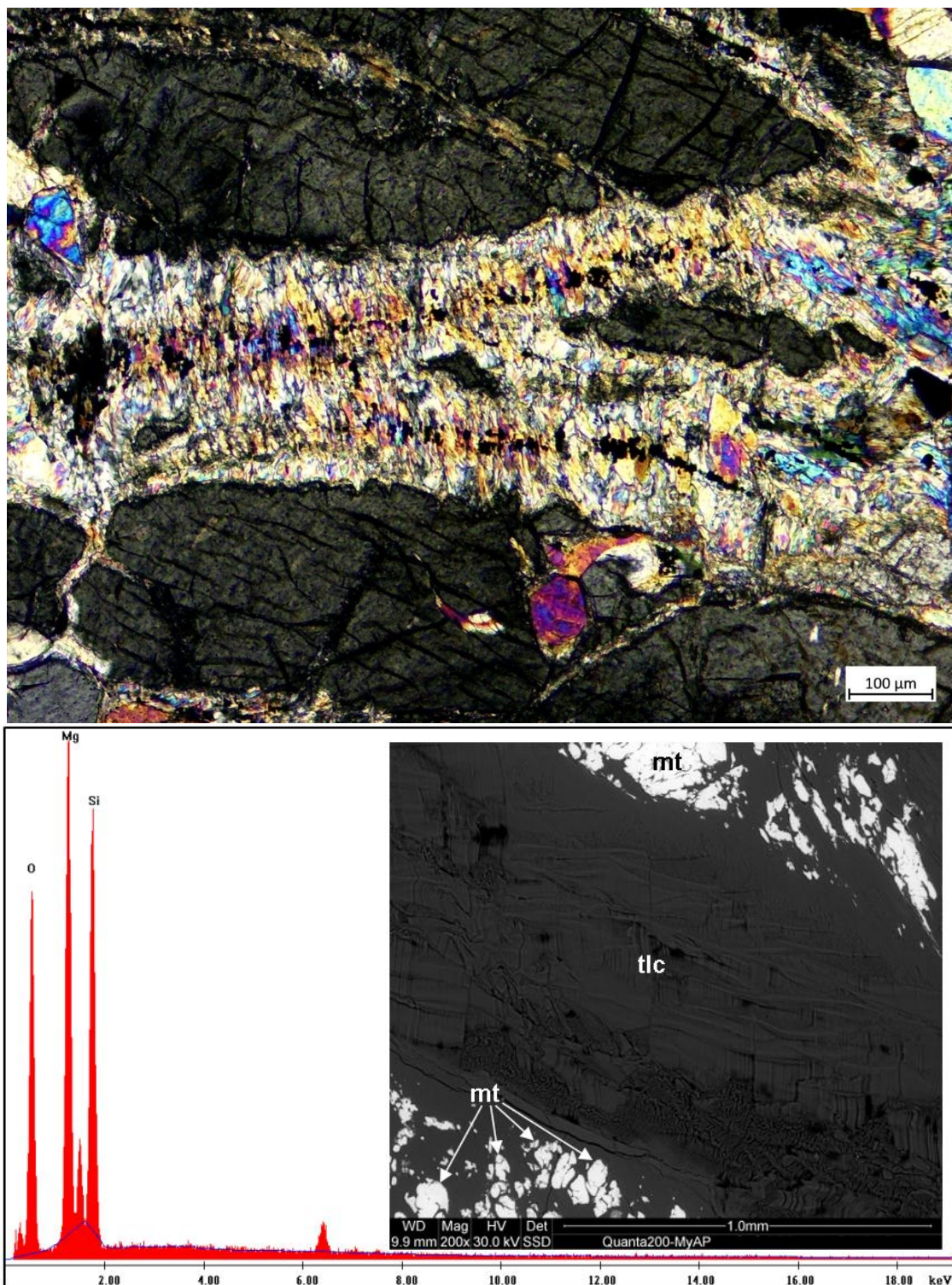


Figura 13. Imagen del microscopio electrónico y espectro del talco de hábito fibroso y laminado presentando una distribución más o menos paralela de varios milímetros, ocurre en venillas asociado a magnetita de formas anhedrales de tamaños menores a 326.79µm.

5.1.2.4. Minerales opacos

Magnetita, ocurren de manera diseminada y asociada a serpentinas, bosquejan los límites de los cristales originales de minerales máficos, también relleno de fracturas de los mismos (**Figura 7**), es reemplazada por hematita según planos de clivaje (**Figura 14**). Mas de 10% de magnetita en rocas muy serpentinizadas. También ocurre en segundo evento de magnetita que corta al evento de serpentización (**Figura 12**).

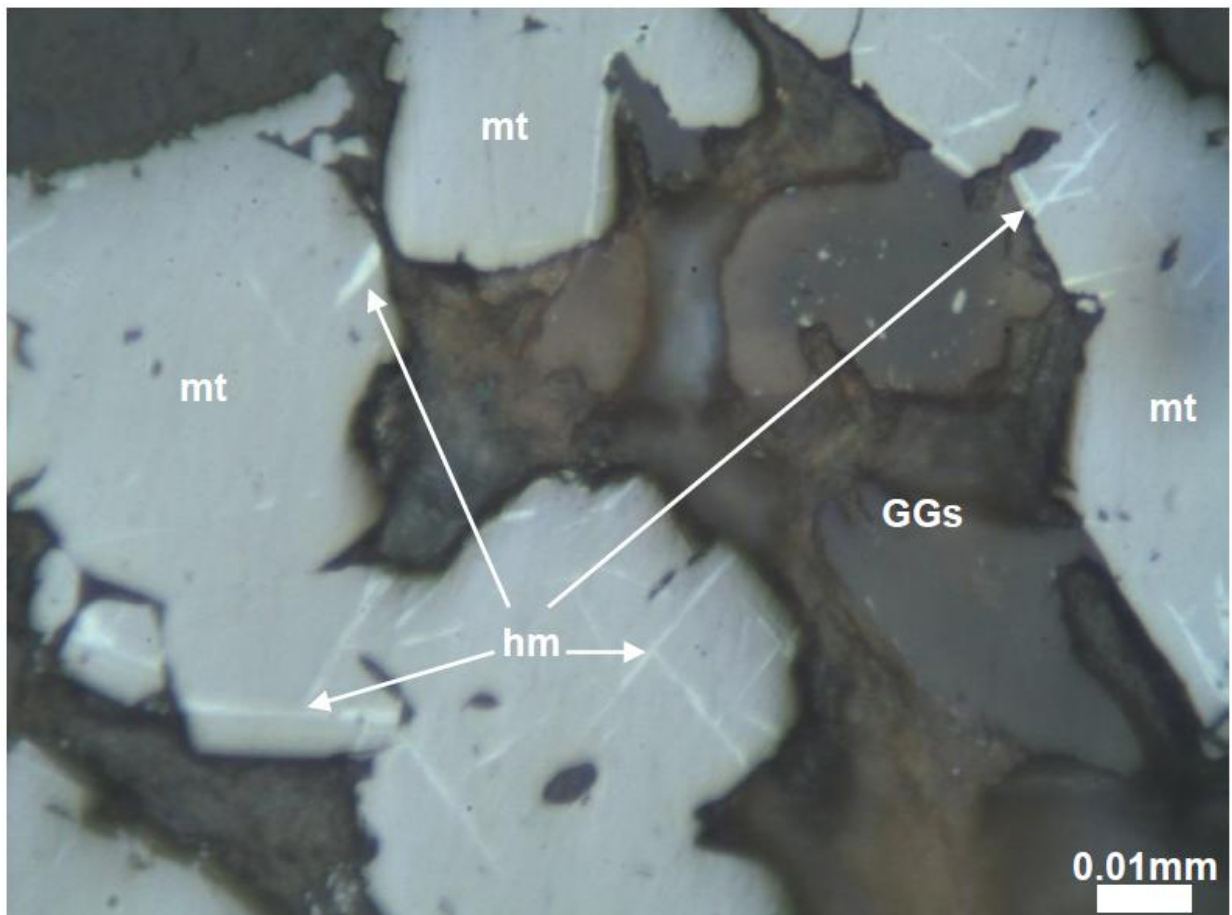


Figura 14. Magnetita(mt) incipientemente reemplazada por hematita(hm) según planos de clivaje. Luz reflejada, nicoles paralelos, muestra M04.

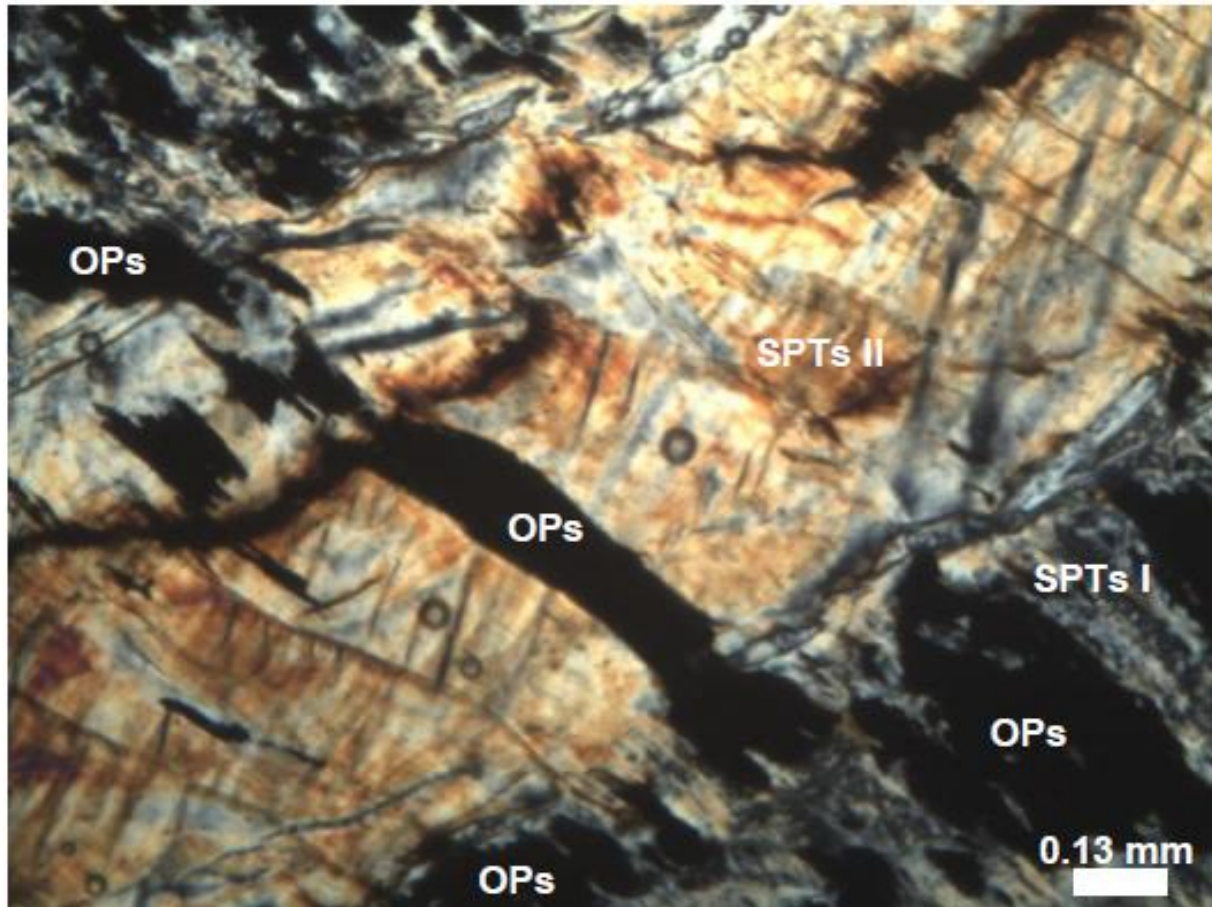


Figura 15: Venilla de serpentinas cortado y relleno por minerales opacos que se orientan casi perpendicularmente a la venilla, nicoles cruzados, muestra M07.

Ferricromita, Miembro de la serie Cromita-Magnetita. Ocurre diseminada, asociada y reemplazada por magnetita (**Figura 16**). Hasta 2% de ferricromita en rocas con bajo grado de serpentización.

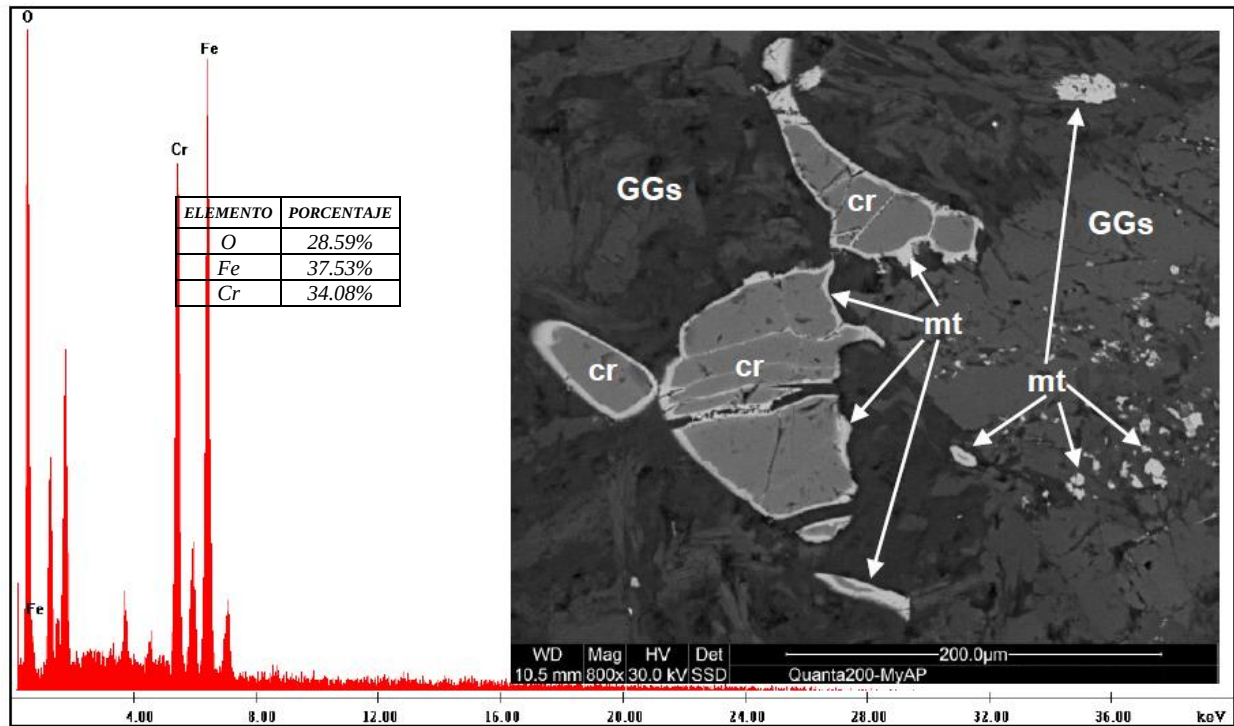


Figura 16. Espectro e imagen SEM de ferricromita. Nótese magnetita reemplazando a ferricromita en bordes y fracturas, como también diseminada en tamaños menores, muestra M06.

Sulfuros, Granos de pirita, calcopirita, pirrotita y pentlandita diseminados (**Figura 17**), también rellenan porosidades de magnetita.

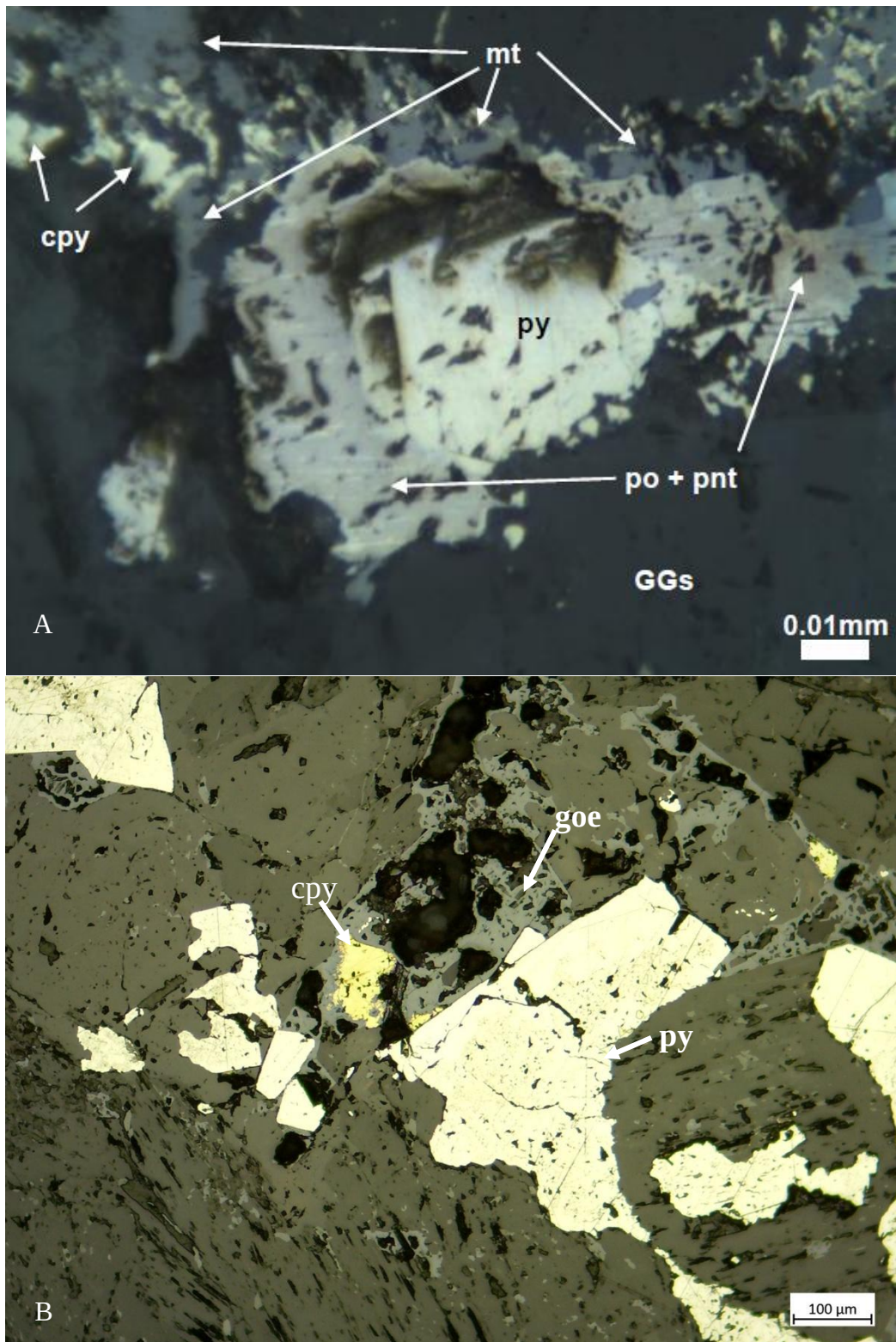


Figura 17. A) Cristal de pirrotita(po) con exsoluciones de pentlandita (pnt) reemplazado por pirita. Calcopirita(cpy) rellenando porosidades. B) Cristal de calcopirita (cpy) siendo reemplazado por goethita (goe) Luz reflejada, nicoles paralelos, muestra M06.

5.1.3. Deformación

La foliación observada en el área de estudio en promedio es N025° con 35°-40°O (**Figura 21**) en los gneises, mientras que la tendencia de los afloramientos de las rocas ultrabásicas es casi N-S desde el Río San Luis Grande hasta la Quebrada San Luis Chico, a partir de esta quebrada los afloramientos inflexionan hacia el SSO hasta el Río Villa Gloria, ver **Figura 18**.

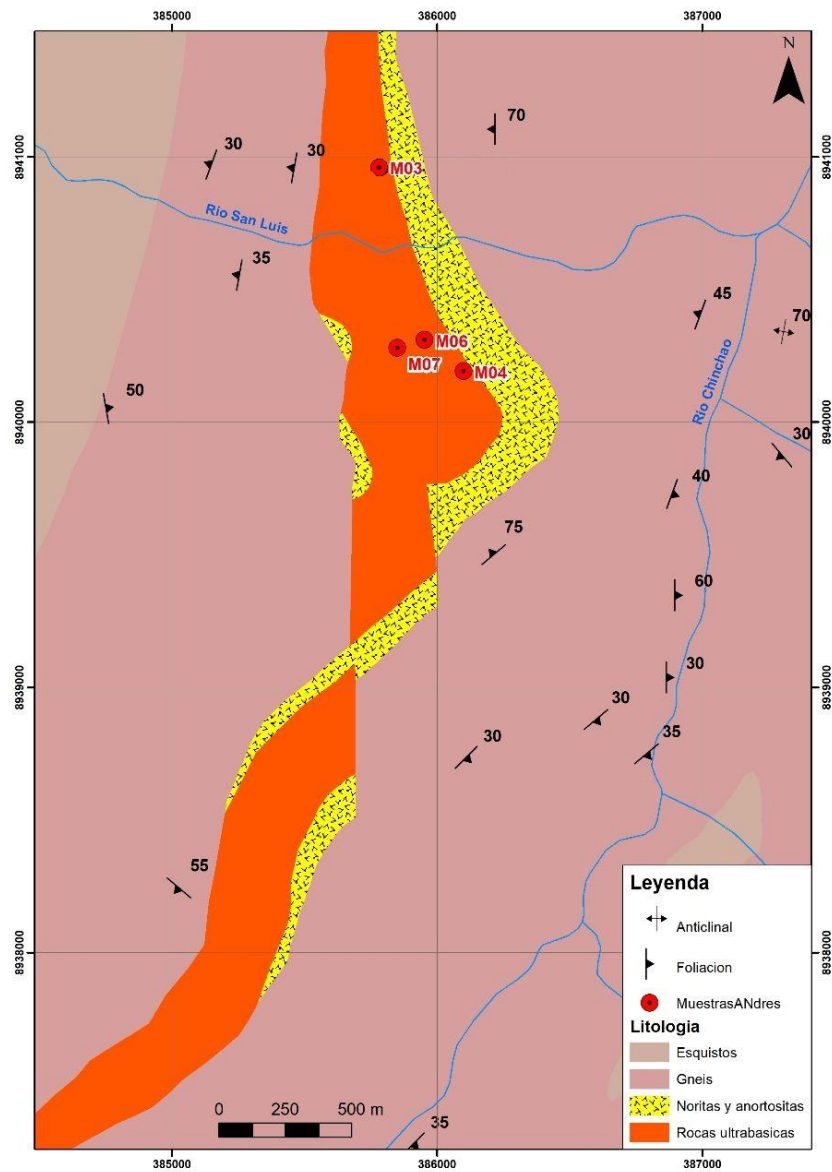


Figura 18. Plano geológico de MUSL

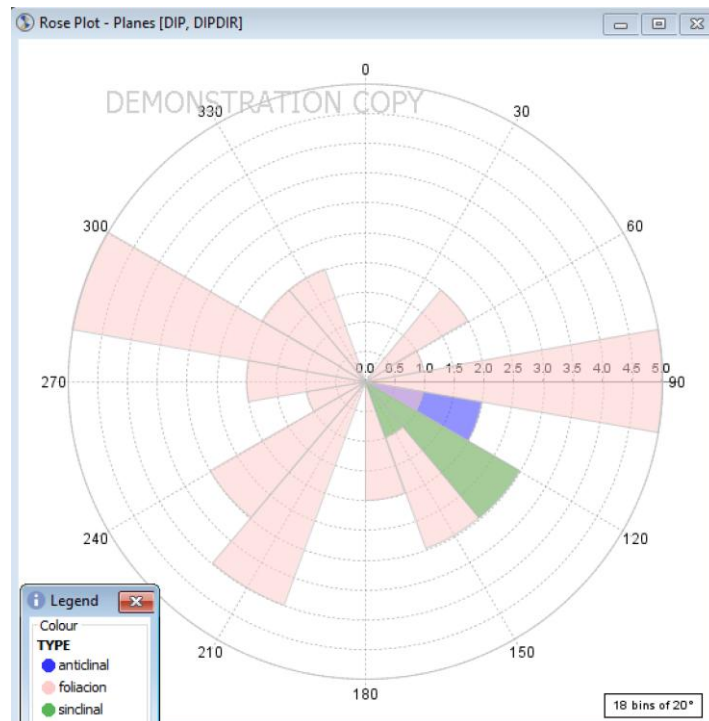


Figura 19: Diagrama de Rosas. Se aprecia el sinclinal y antinodal que están paralelos a la foliación

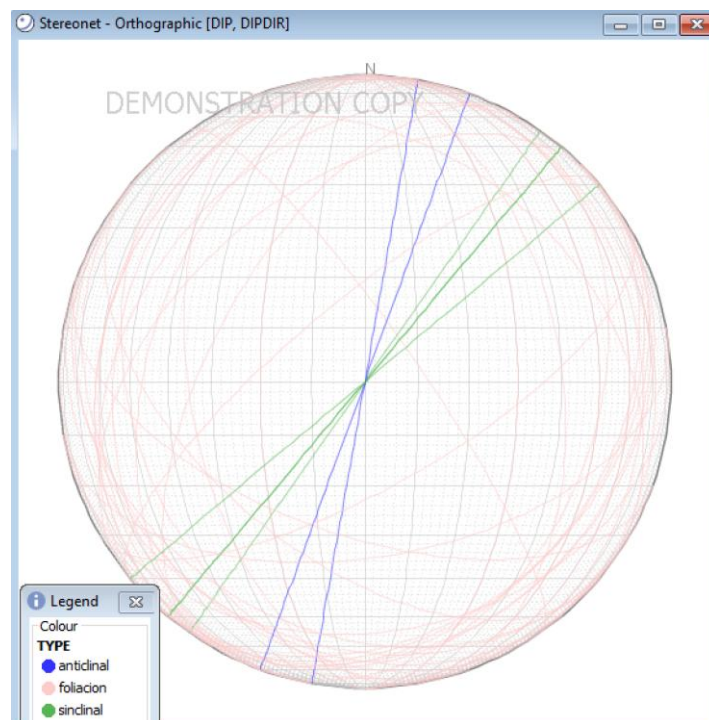


Figura 20: Según el estereograma las direcciones que están transversales a los pliegues presentan bajo ángulo, mientras que los que están en paralelos alto ángulo



Figura 21. Afloramiento de roca ultrabásica mostrando foliación.

5.2. Pruebas de hipótesis

La cartografía y petrografía del MUSL muestra una distribución y composición casi homogénea; no se ha reconocido una columna tipo ofiolita, solo se observa una foliación, en los gneises, que predomina en el área de estudio y es más o menos concordante con los afloramientos de las rocas ultrabásicas. Dentro de las rocas ultrabásicas la foliación es evidenciada por la disposición de la magnetita que preferentemente es paralela a la foliación de los gneises, pero en ocasiones se pueden ver venillas a veces

polidireccionales que cortan a la primera foliación, este evento es local y asociada muchas veces a venillas de talco y mayor diseminación de sulfuros.

Esto sugiere que las rocas ultrabásicas son afloramientos autóctonos y su emplazamiento es tipo sill, ya que el metamorfismo regional que dio origen a la única foliación afectó tanto a la roca encajonante (gneises) y las rocas ultrabásicas de la misma manera. Localmente se observan eventos distensivos que generan venillas polidireccionales de magnetita y talco removidos, quizás asociada a acumulación de sulfuros.

En general Las características petromineralógicas y estructurales de deformación del Macizo Ultramáfico de San Luis guardan relación con el proceso geológico de emplazamiento de intrusión cortical.

5.3. Presentación de resultados

- La ferricromita (Cr) está asociada al evento magmático que formó las rocas ultrabásicas, ya que la ferricromita es reemplazada por magnetita producto del proceso de serpentización.
- El emplazamiento de las rocas ultrabásicas es hipabisal tipo sill.
- Los olivinos son los más fáciles de alterar a serpentinas, seguido de estos están los piroxenos.
- La intensidad de la serpentización depende del mineral máfico que constituye la roca del MUSL, las que presenta mayor grado de serpentización son las dunitas (por su

mayor cantidad de olivinos) y las menos serpentinizadas las piroxenitas (por su menor cantidad de olivinos).

- La serpentinización está fuertemente asociada a magnetita, ya que la hidratación de los máficos forma las serpentinas con el Mg y la magnetita con el Fe residual; localmente está asociada a zoisita y carbonatos.
- Localmente, hay un evento distensivo posterior a la serpentinización que genera venillas polidireccionales de magnetita y talco, probablemente removilizados.
- Los sulfuros (Fe-Cu-Ni) están asociados a un evento hidrotermal (removilización) posterior al evento magmático y a la serpentinización, ya que dichos sulfuros rellenan porosidades de la magnetita e incluso entre cristales de serpentina (**Figura 17**).

Con los resultados obtenidos se puede interpretar la siguiente secuencia paragenética:

Mineral	Evento		
	Magmático	Serpentinización	¿Hidrotermal? (Removilización)
Olivinos	████		
Piroxenos	████		
Ferricromita	██		
Serpentinas		████	
Magnetita		████	████
Carbonatos		██	
Zoisita		██	
Talco		---	████
Sulfuros	---		██

Abundante █████ Menor ██ Probable ---

Tabla 3: Secuencia Paragenética

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El emplazamiento de las rocas ultrabásicas en el macizo ultramáfico de San Luis es hipabisal tipo sill, es decir una intrusión cortical.
- El macizo ultramáfico está constituido por dunitas y piroxenitas que presentan cantidades variables de olivinos y piroxenos, además como accesorio ferricromita.
- El macizo ultramáfico presenta fuerte de serpentinización asociada principalmente a magnetita, localmente asociada a zoisita y carbonatos.
- El macizo ultramáfico presenta una deformación desarrollada por metamorfismo regional que dio origen a la única foliación que afecto tanto a la roca encajonante (gneises) y las rocas ultrabásicas de la misma manera. Localmente se observan eventos distensivos que generan venillas polidireccionales de magnetita y talco, con mayor abundancia de sulfuros.

6.2. RECOMENDACIONES

- Comparar los resultados encontrados en el macizo ultramáfico de San Luis (MUSL= con otros afloramientos discontinuos de rocas ultrabásicos que afloran a lo largo de la Cordillera Oriental del Perú para entender un marco regional de estos afloramientos.
- Explorar mineralización económica de Ni y Cr en el MUSL, tomar en cuenta en que proporción el Ni se encuentra en silicatos y que proporción en sulfuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bach, W., & Fröh-Green, G. L. (2010). Alteration of the lithosphere and implications for seafloor processes. *Elements*, 6(7), 173-178.
- Bach, W., Garrido, J. C., Paulik, H., Harvey, J., & Rosner, M. (2004). Seawater-peridotite interactions: first insights from ODP Leg 209, MAR 15° N. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5.
- Bach, W., Paulik, H., Garrido, J. C., Ildefonse, B., Meurer, W. P., & Humphris, S. E. (2006). Unraveling the sequence of serpentinization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from MAR 15° N (ODP Leg 209, Site 1274). *Geophysical Research Letters*, 33.
- Bucher, K., & Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of metamorphic rocks* (8th ed.). Springer.
- Castroviejo, R., Macharé, J., Castro, P., Pereira, E., Rodrigues, J., Tassinari, C., . . . Acosta, J. (2010). Significado de las ofiolitas neoproterozoicas de la Cordillera Oriental del Perú (9°30'-11°30'). *XV Congreso Peruano de Geología* (págs. 51-53). Cusco: Sociedad Geológica del Perú.
- Dalmayrac, B. (1970). *Étude géologique des Andes du Pérou central*.
- Dilek, Y. (2003). Ophiolite pulses, mantle plumes and orogeny. En Y. Dilek, & P. T. Robinson, *Ophiolites in Earth History* (págs. 9-19). Londres: The Geological Society.
- Dilek, Y., & Furnes, H. (2011). Ophiolite genesis and global tectonics: geochemical and tectonic fingerprinting of ancient lithosphere. *Geological Society of America Bulletin*, 387-411.
- Grandin, G., & Zegarra, J. (1979). Las rocas ultrabásicas en el Perú: las intrusiones lenticulares y los sills de la región Huánuco-Monzón. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 63, 99-115.

Hekinian, R. (1982). Petrology of the ocean floor. *Oceanography*.

Ishiwatari, A., Sokolov, S. D., & Vysotskiy, S. V. (2003). Petrological diversity and origin of ophiolites in Japan and Far East Russia with emphasis on depleted harzburgite. En Y. Dilek, & P. T. Robinson, *Ophiolites in Earth History* (págs. 597-618). Lóndres: The Geological Society.

Jamtveit, B., & Austrheim, H. (2010). Metamorphism: the role of the fluids. *Elements*, 153-158.

Marchesi, C., Garrido, J. C., Padrón-Navarta, J. A., Lopez, V., & Gómez-Pugnaire, M. T. (2013). Element mobility from seafloor serpentinization to high-pressure dehydration of antigorite in subducted serpentinite: insights from the Cerro Almirez Ultramafic Massif (Southern Spain). *Lithos*, 178, 128-142.

Mével, C. (2003). Serpentinization of abyssal peridotites at mid-ocean ridges. *C.R. Geoscience*, 825-852.

Moody, J. B. (1976). Serpentinization: A review. *Lithos*, 125-138.

Wicks, F., & Whittaker, E. (1977). Serpentine textures and serpentinization. *Canadian Mineralogist*, 459-488.

Winter, J. (2001). *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. New Jersey: Prentice-Hall.

ANEXO

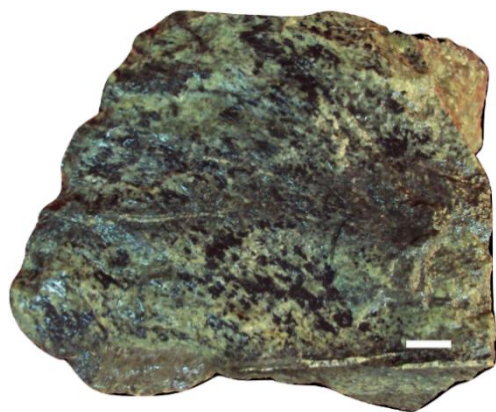
M04 - E386100 N8940188



M06 - E385952 N8940304



M07 E385850 N8940278



M03 - E386104 N8940963

