

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



TESIS

**EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES DE P-T DEL
METAMORFISMO EN LAS ROCAS DEL COMPLEJO METAMÓRFICO
DEL MARAÑÓN ENTRE LAS LOCALIDADES DE SAN PABLO DE
PILLAO, PANAÓ Y CHAGLLA - HUÁNUCO**

PRESENTADO POR:

Br. Naomi Lucana Muñoz

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Mgt. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón

CUSCO- PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES DE P-T DEL METAMORFISMO EN LAS ROCAS DEL COMPLEJO METAMÓRFICO DEL HABANÓN ENTRE LAS LOCALIDADES DE SAN PABLO DE PILLAO, PANAQ Y CHAGLLA - HUÁNUCO"

presentado por: NAOMI LUCANA PUÑOZ con DNI Nro.: 72163470 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEÓLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 14 de AGOSTO de 2024


Firma

Post firma MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREÓN

Nro. de DNI 23848124

ORCID del Asesor 0000-0003-0716-3980

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: _____

NOMBRE DEL TRABAJO

EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES DE P-T DEL METAMORFISMO EN LAS ROCAS DEL COMPLEJO METAMÓRFICO DEL MA RAÑÓN ENTRE LAS LOCALIDADES DE S AN PABLO DE PILLAO, PANA O Y CHAGL LA - HUÁNUCO

AUTOR

NAOMI LUCANA MUÑOZ

RECUENTO DE PALABRAS

37257 Words

RECUENTO DE CARACTERES

222325 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

147 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

16.2MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 14, 2024 4:32 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 14, 2024 4:34 PM GMT-5

● **7% de similitud general**

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

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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



DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza y la perseverancia para seguir adelante y no rendirme. A mis padres, Natividad Muñoz y Hugo Lucana, les estoy eternamente agradecida por su amor incondicional y su constante apoyo, y por siempre creer en mí. A mis hermanas, Xiamira y Anie, por ser mis compañeras y cómplices en cada paso de mi vida. A mis abuelos, Dolores y Julio, por su cariño y cuidado incondicional desde que nací. A todas las personas que conocí durante este proceso, quienes me brindaron su apoyo, cariño y amistad. Y finalmente, a mí misma, por encontrar la fortaleza para alcanzar este sueño y meta.

Naomi Lucana M.



AGRADECIMIENTOS

La culminación de esta tesis representa un hito importante en la vida de un estudiante, marcando el final de una etapa significativa. Para mí, personalmente, simboliza muchas cosas, entre ellas la satisfacción de haber dado mis primeros pasos en el ámbito de la investigación con este trabajo. Estoy muy agradecida por las valiosas enseñanzas recibidas del grupo humano con el que compartí durante este proceso.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi familia: mi madre, mi padre, mis hermanas y mis abuelos, quienes han sido el pilar fundamental de mi desarrollo, realizando siempre todo tipo de esfuerzos para que me sienta cómoda, querida y acogida. Reconozco la importancia de su apoyo en mi desarrollo y me siento profundamente afortunada de contar con ellos.

Mi agradecimiento especial va al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), por acogerme desde el inicio de mi carrera profesional y por proporcionarme los recursos y facilidades para llevar a cabo este proyecto de investigación. Agradezco al Ing. Marco Chumpitaz, quien me ayudó a desarrollar la idea de esta tesis mientras cartografiábamos el cuadrángulo de Panao, y de quien aprendí la cartografía geológica en campo; gracias por su apoyo y paciencia. También agradezco al Ing. Rildo Rodríguez, al Ing. Dante Soberón, a la Ing. Claudia Fabián y al Ing. Elvis Sánchez por su apoyo, motivación y amistad durante la culminación de esta tesis.

Asimismo, expreso mi gratitud al Dr. Pablo Gonzales por sus revisiones, enseñanzas y apoyo, fundamentales para entender mejor la petrología metamórfica y descubrir la belleza de la investigación. Agradezco a mi asesor de tesis, el Mgt. Mauro Alberto Zegarra Carrión, por su apoyo y consejos, y a los excelentes profesores que nos impartieron clases, por su talento, pasión y disposición para explicar lo inexplicable.

A mis amigas del colegio, las “CHIN”, por tantos años de amistad, a mis compañeros de universidad con los que compartí y aún comparto momentos maravillosos y mis amigos de INGGEMMET en los que encontré un apoyo para finalizar esta tesis.

¡¡A todos ustedes, muchísimas gracias y siéntanse partícipes de mi alegría!!



RESUMEN

El Complejo Metamórfico del Marañón es considerado uno de los cuerpos metamórficos más antiguos de la Cordillera Oriental del Perú; sin embargo, su edad, descripción, formación y evolución aún están en discusión. Este estudio se desarrolló entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla, áreas donde se encontró escasa información sobre el complejo metamórfico. El objetivo principal del estudio es determinar la evolución de las condiciones de P-T del metamorfismo en las rocas de este complejo entre estas localidades. La metodología utilizada consta de trabajos de campo, con el cartografiado a escala 1:50 000 de las unidades geológicas, adquisición de puntos de observación geológica (POG) y recolección de 17 muestras para secciones delgadas, las mismas que fueron analizadas en los laboratorios de INGEMMET y que posteriormente permitieron estimar las condiciones de P-T del pico metamórfico a partir de las asociaciones minerales encontradas. La variabilidad litológica consta de esquistos, ortogneis, anfibolitas y paragneis propios de un metamorfismo regional; además se encontró milonitas de esquistos y paragneis que indican un metamorfismo local dinámico de alto grado metamórfico. Según los datos obtenidos, las anfibolitas de Chaglla se pudo determinar la evolución completa de las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo permitiendo trazar una trayectoria P-T-t completa de tipo horaria característica de áreas de cabalgamientos y zonas de subducción en M1-t1, y una posterior descompresión, enfriamiento e hidratación de las fases minerales anhidras en M2-t2; estas rocas presentan un pico metamórfico M1-t1 representado por la asociación mineral Qtz-Pl-Ep-Hbl, con condiciones de 500 a 550°C y 5 a 6 Kbar, situándose en la facies de transición de esquistos verdes a anfibolita y que posteriormente experimentaron un metamorfismo retrógrado M2-t2 con la asociación mineral Tr-Chl-Act-Ep-Pl, que indica condiciones de 400 a 450°C y 3.3 a 4 Kbar en facies de esquistos verdes.

PALABRAS CLAVE: Complejo Metamórfico del Marañón, facies metamórficas, condiciones de presión y temperatura (P-T), milonitas, metamorfismo retrógrado, evolución metamórfica.



ABSTRAC

The Marañón Metamorphic Complex is considered one of the oldest metamorphic belts in the Eastern Cordillera of Peru; however, its age, description, formation and evolution are still under discussion. This study was carried out between the localities of San Pablo de Pillao, Panao and Chaglla, areas where little information was found on the metamorphic complex. The main objective of the study is to determine the evolution of the P-T conditions of the metamorphism in the rocks of this complex between these localities. The methodology used consists of field work, with mapping at a scale of 1:50,000 of the geological units, acquisition of geological observation points (POG) and collection of 17 samples for thin sections, which were analyzed in the INGEMMET's laboratories and which subsequently allowed to estimate the P-T conditions of the metamorphic peak from the mineral associations found. The lithological variability consists of schists, orthogneisses, amphibolites and paragneisses typical of a regional metamorphism; in addition, schist and paragneiss mylonites were found, which indicate a dynamic local metamorphism of high metamorphic grade. According to the data obtained, the complete evolution of the temperature and pressure conditions of the metamorphism could be determined in the Chaglla amphibolites, allowing the tracing of a complete hourly P-T-t trajectory characteristic of thrust areas and subduction zones in M1-t1, and a subsequent decompression, cooling and hydration of the anhydrous mineral phases in M2-t2; These rocks present a metamorphic peak M1-t1 represented by the mineral association Qtz-Pl-Ep-Hbl, with conditions of 500 to 550°C and 5 to 6 Kbar, located in the transition facies from green schist to amphibolite and which subsequently experienced a retrograde metamorphism M2-t2 with the mineral association Tr-Chl-Act-Ep-Pl, which indicates conditions of 400 to 450°C and 3.3 to 4 Kbar in green schist facies.

KEY WORDS: Marañón Metamorphic Complex, metamorphic facies, pressure and temperature (P-T) conditions, mylonites, retrograde metamorphism, metamorphic evolution.



INTRODUCCIÓN

El estudio de las rocas metamórficas y sus características petrográficas es fundamental para entender los procesos geológicos que han dado forma a la corteza terrestre. Comprender las trayectorias de presión-temperatura-tiempo (P-T-t) en estas rocas proporciona información valiosa sobre la evolución metamórfica de la formación de estas rocas.

A pesar de los estudios previos realizados por investigadores como De la Cruz et al. (1996), quienes realizaron la cartografía geológica del Complejo Metamórfico del Marañón en la Carta Geológica Nacional de Panao, describiendo diversas litologías como esquistos y gneis con diferentes asociaciones de minerales, aún existen lagunas significativas en el conocimiento sobre las condiciones metamórficas y la evolución de este complejo. Además, estudios recientes de González y Marcos (2023) subrayan la necesidad de examinar la petrografía con detalle para determinar los estadios metamórficos mediante análisis texturales en lámina delgada de las rocas metamórficas.

El objetivo general de esta investigación es determinar la evolución de las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla de la región de Huánuco. Esta investigación es crucial para la comprensión de los procesos geológicos en el Complejo Metamórfico del Marañón. Los resultados obtenidos pueden tener importantes implicaciones para la exploración de recursos minerales y para la reconstrucción de la historia tectónica de la región.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se empleará una metodología que combina trabajo de campo y análisis petrográfico. El trabajo de campo incluye la recolección de muestras representativas del complejo, mientras que en el laboratorio se realizarán análisis petrográficos detallados utilizando microscopía de polarización. Finalmente, los datos obtenidos se utilizarán para construir modelos de las trayectorias P-T-t de las rocas estudiadas.



ÍNDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Ubicación.....	1
1.2. Accesibilidad.....	1
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Formulación del problema.....	4
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1. Justificación teórica.....	4
2. Justificación práctica.....	5
3. Justificación metodológica.....	5
1.6. Objetivos.....	6
1.6.1. Objetivo general.....	6
1.6.2. Objetivos específicos.....	6
1.7. Hipótesis.....	6
1.7.1. Hipótesis general.....	6
1.7.2. Hipótesis específicas.....	6
1.8. Variables.....	7
1.8.1. Variable independiente.....	7
1.8.2. Variable dependiente.....	7
1.8.3. Operación de variables.....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.1.1. Antecedentes regionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3. Antecedentes internacionales.....	11
2.2. Bases teóricas.....	13
2.2.1. Nomenclatura de rocas metamórficas.....	13



2.2.2. Grado metamórfico	14
2.2.3. Minerales índices y zonas minerales	15
2.2.4. Facies metamórficas	16
2.2.5. Petrografía metamórfica.....	18
2.2.6. Trayectorias de presión-temperatura-tiempo.	22
2.2.7. Milonitas	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	28
3.1. Método científico	28
3.1.1. Enfoque de investigación	28
3.1.2. Tipo de investigación	28
3.1.3. Nivel de investigación	28
3.1.4. Método de investigación	29
3.1.5. Diseño de investigación	29
3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.1.7. Población y muestra.....	29
3.2. Método de trabajo.....	30
3.2.1. Etapa de gabinete pre-campo.....	30
3.2.2. Etapa de campo	30
3.2.3. Etapa de laboratorio.....	31
3.2.4. Etapa de gabinete post-campo	31
CAPÍTULO IV: MARCO GEOLÓGICO	32
4.1. Geología regional	32
4.1.1. Estratigrafía regional	32
4.1.2. Rocas intrusivas.....	34
4.1.3. Geología estructural.....	35
4.2. Geología local.....	36
4.2.1. Estratigrafía local	36



4.2.2. Rocas intrusivas.....	46
4.2.3. Geología estructural.....	49
CAPÍTULO V: METAMORFISMO	53
5.1 Análisis petrográfico	53
5.1.1. Bajo grado metamórfico.....	54
5.1.2. Bajo a medio grado metamórfico	58
5.1.3. Medio grado metamórfico	62
5.1.4. Alto grado metamórfico.....	66
5.2. Estimación de las condiciones de P-T del metamorfismo	70
5.2.1. Bajo grado metamórfico.....	70
5.2.2. Bajo a medio grado metamórfico	71
5.2.3. Medio grado metamórfico	72
5.2.4. Alto grado metamórfico.....	74
5.3. Interpretación de la trayectoria P-T-t.....	78
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
6.1. Cartografiado geológico	80
6.2. Análisis petrográfico	81
6.2.1. Bajo grado metamórfico.....	81
6.2.2. Bajo a medio grado metamórfico	81
6.2.3. Medio grado metamórfico	82
6.2.4. Alto grado metamórfico.....	83
6.3. Condiciones de P-T	83
6.3.1. Bajo grado metamórfico.....	84
6.3.2. Bajo a medio grado metamórfico	84
6.2.3. Medio grado metamórfico	84
6.2.4. Alto grado metamórfico.....	85
6.4. Evolución de las condiciones de P-T del área de estudio	86



CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	94
Anexo 1. Descripción microscópica de muestras	94
Anexo 2. Mapa geológico regional	128
Anexo 3. Mapa geológico local.....	129
Anexo 4. Mapa geológico estructural y magmático	130
Anexo 5. Mapa de ubicación de muestras	131
Anexo 6. Mapa de condiciones de P-T del Complejo Metamórfico del Marañón	132
Anexo 7. Matriz de consistencia	133



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.	2
Figura 2. Representación esquemática en el espacio P-T de los cinco sectores de temperatura y presión, y los cinco sectores radiales de razones P/T.	15
Figura 3. Relación entre minerales índices y zonas minerales de Barrow según el grado metamórfico.	16
Figura 4. Diagrama T-P con las distintas facies metamórficas y sus límites aproximados.	17
Figura 5. Texturas comunes de las rocas metamórficas	19
Figura 6. Tipos de bordes de reacción. Reacciones probables que causan bordes de reacción. A – F son minerales involucrados.	22
Figura 7. Trayectoria P-T-t.	23
Figura 8. Distintos tipos de trayectoria P-T-t.	23
Figura 9. Clasificación de milonitas según su grado metamórfico.	25
Figura 10. Características de la recristalización dinámica y las condiciones de temperatura relacionadas.	27
Figura 11. Columna estratigráfica regional.	32
Figura 12. Columna estratigráfica del área de estudio.	36
Figura 13. Afloramiento de esquistos del Complejo Metamórfico Marañón.	38
Figura 14. Afloramiento de esquistos de rutilo y biotita del Complejo Metamórfico Marañón	38
Figura 15. Esquistos de biotita del Complejo Metamórfico Marañón en la localidad de Panao.	39
Figura 16. Anfibolitas del Complejo Metamórfico Marañón en la localidad de Chaglla.	40
Figura 17. Anfibolitas de grano fino Complejo Metamórfico Marañón de Quinqui.	40
Figura 18. Ortogneis del Complejo Metamórfico Marañón	41
Figura 19. Complejo Metamórfico Marañón, milonita de esquistos de turmalina.	42
Figura 20. Milonita de paragneis del Complejo Metamórfico Marañón en Ticapampa.	43
Figura 21. Gneis milonítico del Complejo Metamórfico Marañón de San José de Miraflores.	43
Figura 22. Milonitas de paragneis del Complejo Metamórfico Marañón de San Pablo de Pillao.	44
Figura 23. Afloramiento del Grupo Mitu al este de la zona de estudio	45
Figura 24. Depósito coluvial con clastos subredondeado heterométrico de intrusivos graníticos alineándose al pie de talud.	46
Figura 25. Contacto de sienogranito con el Complejo Metamórfico del Marañón.	47
Figura 26. Monzogranito de grano medio a grueso cortando secuencias de esquistos del Complejo Metamórfico del Marañón.	48
Figura 27. Granito, diaclasas en disposición horizontal en detalle granito de grano medio.	49



Figura 28. Vista panorámica del sistema de fallas NOO-ESE.....	51
Figura 29. Vista panorámica de falla dextral SO-NE.	51
Figura 30. Sección geológica representativa del área de estudio, transecto Panao-Chaglla.....	52
Figura 31. Muestra 20I-C50-6-10. Nicoles Paralelos (NP), Nicoles Cruzados (NX)	55
Figura 32. Diagrama AFM Para la asociación mineralógica Kfs-Ms-Bt-Chl en zona de biotita para la muestra 20I-C50-6-10.	56
Figura 33. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-34	57
Figura 34. Diagrama de compatibilidad ACF que exhibe la asociación mineral de la muestra 20I-C50-6-34 en facies esquistos verdes.....	57
Figura 35. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-37.	59
Figura 36. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-38	60
Figura 37. Diagrama de compatibilidad ACF que exhibe la asociación mineral del pico metamórfico M1 de la muestra 20I-C50-6-37.....	61
Figura 38. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-45	62
Figura 39. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-24	64
Figura 40. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-35	64
Figura 41. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-30	65
Figura 42. Microfotografías de las muestras 20I-C50-6-31 y 20I-C50-6-40	67
Figura 43. Microfotografías de las muestras de milonitas de paragneis.....	69
Figura 44. Diagrama pTX que representa el conjunto Kfs-Ms-Bt-Chl que indica el rango de temperatura para la muestra 20I-C50-6-10.....	71
Figura 45. Cristalización de rutilo a partir de biotita en paragneisses de facies de granulita de la zona Ivrea-Verbano.....	73
Figura 46. Características de la recristalización dinámica y las condiciones de temperatura relacionadas.....	75
Figura 47. Gráfico de grados metamórficos de acuerdo con las condiciones de presión y temperatura estimadas para el metamorfismo regional de las rocas de área de estudio.	77
Figura 48. Trayectoria P-T-t para la muestra 20I-C50-6-38, anfibolitas de Chaglla.....	79
Figura 49. Mapa de condiciones de P-T para el área de estudio	87



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Coordenadas UTM del área de estudio.</i>	1
Tabla 2. <i>Accesibilidad a las zonas dentro del área de estudio.</i>	3
Tabla 3. <i>Operación de variables del estudio.</i>	7
Tabla 4. <i>Rangos más comunes de temperatura y presión del metamorfismo.</i>	14
Tabla 5. <i>Síntesis de las facies metamórficas y sus minerales diagnósticos para distintas composiciones de protolitos. (1) metamórficas, (2) metapelitas, (3) metacarbonáticas.</i>	17
Tabla 6. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.</i>	29
Tabla 7. <i>Ubicación, litología y asociaciones minerales de cada muestra recolectada</i>	54



LISTA DE ABREVIATURAS

Qtz: Cuarzo

Pl: Plagioclasa

Kfs: F. Potásico

Bt: Biotita

Ms: Moscovita

Ser: Sericita

Chl: Clorita

Op: Minerales opacos

Sil: Sillimanita

Prh: Prehnita

Pmp: Pumpellyta

Ep: Epidota

Zo: Zoisita

Cb: Carbonatos

Tr: Tremolita

Act: Actinolita

Grt: Granate

Hbl: Hornblenda

Ttn: Titanita

Rt: Rutilo

Tur: Turmalina

Zrn: Circón

ARCs: Arcillas

Ox-Fe: Óxidos de hierro

INGEMMET: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

SCMR: La Subcomisión de Nomenclatura de Rocas Metamórficas

IUGS: International Union of Geological Sciences

POG: Punto de observación geológica

EPP: Equipo de protección personal

Nx: Nicoles cruzados

Np: Nicoles paralelos



CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicado en la sierra central del Perú, en el departamento de Huánuco, provincias de Huánuco y Pachitea, y abarca los distritos de Chinchao, Umari, Chaglla, Panao y Molino (Figura 1). El área total aproximada cubierta en este trabajo es de 310.6 km², abarca parte de la Cordillera Oriental y se encuentra limitada por las coordenadas WGS_1984_UTM_Zona_18S de la tabla 1.

Tabla 1. *Coordenadas UTM del área de estudio.*

Vértice	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
A	8922066.08	390316.47
B	8922093.54	400935.90
C	8900825.08	401846.07
D	8897027.83	390391.43

1.2. Accesibilidad

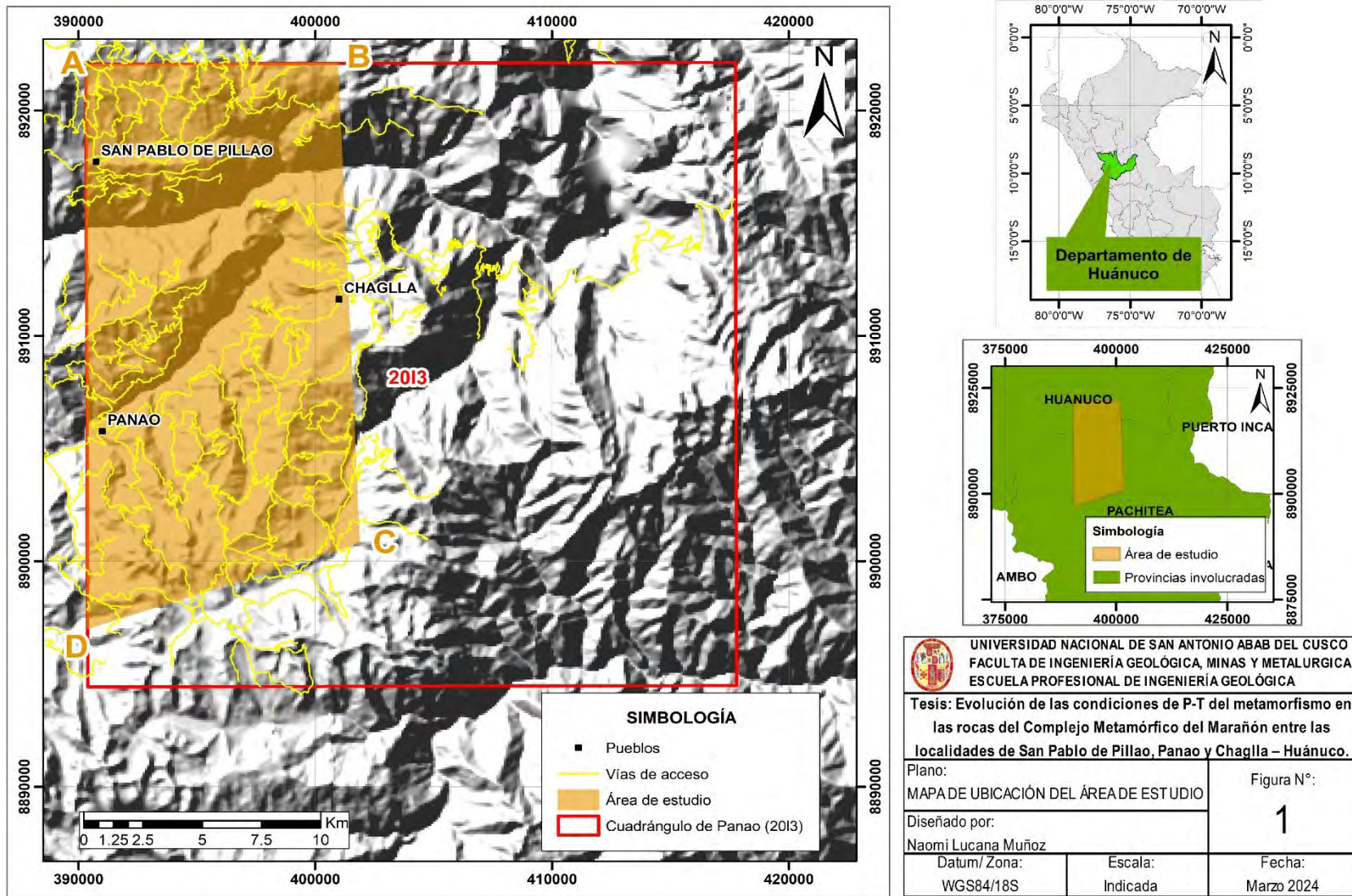
El área de estudio abarca las localidades de San Pablo de Pillao, Chaglla y Panao; por lo que es accesible mediante vías terrestres, como carreteras y vías no asfaltadas, estas se describen a continuación.

El acceso a la zona norte del área de estudio se realiza partiendo del centro de la ciudad del Huánuco en dirección al poblado de San Pablo de Pillao a 60 minutos de viaje (Tabla 2), se puede acceder en transporte público y/o privado hasta este sector que está a 51 km de la ciudad.

El acceso a la zona sur del área de estudio se efectúa mediante la carretera asfaltada que va hasta el sector de Huánuco hacia el poblado de Panao, con 50 minutos de viaje, se puede acceder en transporte público y/o privado hasta este sector (Tabla 2).



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



Nota. Mapa de ubicación realizado con la base de datos geográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN).



El acceso a la zona central del área de estudio se lleva a cabo mediante la carretera asfaltada desde el poblado de Panao hasta el poblado de Chaglla. (Figura 1), con 20 minutos de viaje (Tabla 2), se puede acceder en transporte privado hasta este sector.

Tabla 2. *Accesibilidad a las zonas dentro del área de estudio.*

Zona	Trayecto	Distancia	Tiempo aproximado (min)
Norte	Huánuco-San Pablo de Pillao	51 km	60 min
Centro	Panao-Chaglla	17 km	20 min
Sur	Huánuco - Panao	40 km	50 min

1.3. Planteamiento del problema

El Complejo Metamórfico del Marañón es considerado uno de los cuerpos metamórficos más antiguos del norte y centro del Perú según la cartografía nacional realizada por INGEMMET a escala 1:100 000 y se extiende ampliamente a lo largo de la Cordillera Oriental con dirección NO-SE; sin embargo, su edad, descripción, formación y evolución aún sigue en discusión.

En la región de Huánuco, al oeste del área de estudio, Cardona (2006) realizó la descripción petrográfica y análisis termo barométricos en los esquistos y gneis de Huánuco lo que le permitió determinar en una muestra un evento metamórfico prógrado y uno retrógrado. De la Cruz et al. (1996) realizaron la cartografía geológica del Complejo Metamórfico del Marañón como parte de la Carta Geológica Nacional de Panao (201) a la escala 1:100 000 en las localidades de Panao y Chaglla; en su estudio, describieron esquistos cuarzo-micáceos, cuarzo-moscovíticos, esquistos de cuarzo-biotita-moscovita, gneis con micas-cuarzo y plagioclasas, gneis de granate-moscovita-biotita y gneis de biotita-moscovita. Sin embargo, no realizaron estudios detallados de las asociaciones minerales que podrían estimar las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo de estas rocas y no existen estudios previos que nos permitan estimar las condiciones del metamorfismo en esta zona.

Por lo expuesto, este estudio plantea identificar diferentes asociaciones mineralógicas de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de Panao, Chaglla y San Pablo de Pillao para estimar las condiciones metamórficas a las que se formaron, lo que ayudaría



a entender la evolución geológica del área y a realizar una mejor correlación con otras regiones circundantes. Además, esta investigación nos permitirá determinar las trayectorias de Presión-Temperatura-Tiempo (P-T-t), las cuales ayudarán a entender cómo las rocas han evolucionado estas rocas a lo largo del tiempo.

1.4. Formulación del problema

a. Problema general

¿Cuál es la evolución de las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?

b. Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las asociaciones minerales que nos permitirán estimar las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?
2. ¿Cuáles son las facies y grado metamórfico al que pertenecen las rocas del Complejo metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?
3. ¿Cuáles son las curvas de presión, temperatura y tiempo que explicarán la evolución del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

Según estudios previos, como los de De la Cruz et al. (1996), han descrito esquistos y gneises entre las localidades de Panao, Chaglla y San Pablo de Pillao, pero no han detallado las asociaciones minerales necesarias para estimar las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo.



La falta de esta información limita la comprensión de la evolución geológica del área. Identificar las asociaciones mineralógicas, facies, grado metamórfico y determinar las trayectorias de Presión-Temperatura-Tiempo (P-T-t) es esencial para entender cómo estas rocas han evolucionado y correlacionarlas con otras regiones circundantes al área de estudio.

Este estudio busca llenar este vacío mediante la caracterización detallada de las rocas metamórficas en Panao, Chaglla y San Pablo de Pillao. En esta investigación se tomará de referencia los estudios realizados por Cardona (2006) y González & Cabana (2006) como guía para estimar cualitativamente las condiciones de P-T de formación de las rocas metamórficas; además se realizará una discusión de resultados con la investigación de Cardona (2006) donde el autor realizó un análisis petrográfico y termo barométrico al oeste del área de estudio. Al estimar las condiciones de metamorfismo mediante el análisis petrográfico, se contribuirá al conocimiento de la evolución geológica del Complejo Metamórfico del Marañón.

1.5.2. Justificación práctica

Este estudio se fundamenta en la necesidad de promover el conocimiento de la petrografía para poder estimar las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo cualitativamente, que es un primer paso para poder usar técnicas más avanzadas como la termobarometría. Además, esta información ayudará a proporcionar información valiosa sobre la historia geológica de la región, permitiendo orientar mejor las actividades de exploración minera, y ayudando a la comprensión de la evolución del Complejo Metamórfico del Marañón.

1.5.3. Justificación metodológica

Desde un enfoque metodológico, este estudio es fundamental para lograr la estimación de las condiciones de P-T de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de Panao, Chaglla y San pablo de Pillao mediante la cartografía a detalle y el estudio petrográfico. Las asociaciones mineralógicas permitirán establecer las condiciones de presión y temperatura a las que se formaron las rocas. Estas técnicas son esenciales para desarrollar trayectorias de Presión-Temperatura-Tiempo (P-T-t) de forma cualitativa, proporcionando una



visión integral de la evolución metamórfica del área de estudio. La aplicación de estas metodologías servirá como una valiosa guía para futuras investigaciones similares en rocas metamórficas del país.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la evolución de las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Determinar las asociaciones minerales para estimar las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.
2. Determinar las facies y grado metamórfico de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.
3. Realizar curvas de presión, temperatura y tiempo para explicar la evolución de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

Existe una evolución en las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.

1.7.2. Hipótesis específicas

1. Las distintas asociaciones minerales de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla permitirán estimar las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo.



2. Las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla presentan distintas facies y grados metamórficos.
3. Las curvas de presión, temperatura y tiempo permitirán explicar la evolución del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.

1.8. Variables

1.8.1. Variable independiente

- Composición mineralógica
- Textura de la roca

1.8.2. Variable dependiente

- Condiciones de P-T

1.8.3. Operación de variables

Tabla 3. Operación de variables del estudio

Tipo de variable	Nombre de variable	Indicadores	Índices
Independiente	Composición mineralógica	Presencia de minerales índice (granate, biotita, rutilo, cianita, estauroлита, etc.)	- Identificación petrográfica de minerales - Asociación mineralógica observada
	Textura de la roca	Granulometría, foliación, orientación de minerales, presencia de porfiroblastos	- Descripción cualitativa de texturas - Observación de características texturales
Dependiente	Condiciones P-T	Presión y temperatura estimadas durante el metamorfismo basada en de asociaciones minerales	- Referencias bibliográficas sobre termobarometría y estudios similares



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes regionales

Antecedente 1. De la Cruz et al. (1996), en el boletín “*Geología de los cuadrángulos de Aguaytía, Panao y Pozuzo*” de INGEMMET, describen al Complejo Metamórfico del Marañón en los poblados de Panao y Molino; donde identificaron esquistos de color gris a gris oscuro y verdosos asociados a vetillas de cuarzo paralelos a la esquistosidad. Los esquistos fueron descritos como cuarzo micáceo, con asociaciones mineralógicas de cuarzo-moscovita, cuarzo-moscovita-clorita, cuarzo-biotita-micas, y micas-cuarzo. Al suroeste de Panao, encontraron afloramientos de gneis con micas, cuarzo y plagioclasas, gneis de granate-moscovita-biotita y gneis de biotita-moscovita, considerándolas como las rocas más antiguas de la zona. Este antecedente proporciona una descripción de las asociaciones mineralógicas y litológicas del Complejo Metamórfico del Marañón encontradas en el área de estudio.

Antecedente 2. Cardona (2006) en su tesis de Doctorado titulada: “Reconocimiento de la evolución tectónica del margen protoandino del centro-norte del Perú, a partir de datos geoquímicos e isotópicos del basamento de la Cordillera Oriental en la región Huánuco-La Unión” de la Universidad de São Paulo, identificó las principales características de la evolución tectónica pre-andina, la temporalidad y correlación con el basamento metamórfico en Huánuco y La Unión; para lo cual realizó análisis petrográficos y geoquímicos de 64 muestras, así como estudios geocronológicos de 8 muestras en U/Pb y 4 muestras en Rb-Sr, Sm-Nd, K-Ar y $Ar_{40}-Ar_{39}$, las cuales permitieron dividir las rocas metamórficas del Complejo Marañón en tres unidades litoestratigráficas: (1) el gneis de Huánuco que incluye un ortogneis formado hacia -613 Ma y luego metamorfoseado en la facies de anfibolita, contemporáneamente a la intrusión de un granitoide entre 480-460 Ma; (2) los esquistos de Huánuco constituidas por protolitos sedimentarios y volcánicos formaron posteridad a 460 Ma y se metamorfosearon a -420 Ma en condiciones de P- T calculadas en algunas muestras de 540-660°C y 3-5 Kb y 325° -450°C; (3)



los esquistos de La Unión, también con protolitos vulcano sedimentarios formados después de 315 Ma, presentan metamorfismo en las facies de esquistos verdes (3-4 Kb y 350-400° C) ocurrido hace 300 Ma. El autor realizó la trayectoria P-T-t en un esquisto de Huánuco, de carácter horario lo que sugería un episodio orogénico compresivo seguido por un colapso orogénico y posterior descompresión e indicó que la edad de los protolitos fue del Neoproterozoico Superior de alrededor de 613 Ma y que su metamorfismo tuvo lugar durante el Ordovícico Inferior, hace aproximadamente 484 ± 12 Ma. Este antecedente proporciona datos detallados sobre las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo en Huánuco, lo cual es crucial para comparar las condiciones metamórficas observadas en la zona de estudio.

Antecedente 3. Cardona et. al. (2004), en el resumen extendido del congreso de la Sociedad Geológica Peruana titulado: *“Petrología y geocronología K-Ar del complejo marañón (Región Huánuco- Tingo María), cordillera oriental de los andes peruanos: consideraciones tectónicas preliminares”*, realiza la petrología y geocronología del Complejo Marañón, ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes Peruanos, en la región de Huánuco-Tingo María, donde concluye que este complejo incluye rocas metamórficas de bajo grado y de edad Pre-Ordovíciana. En su estudio analiza las características estructurales y microestructurales de estas rocas, que sugieren un metamorfismo de presión intermedia de tipo barrowiano, con temperaturas que oscilan entre 200° y 500° C. Además, realizaron análisis geocronológicos K-Ar que identificaron eventos tectono-termales en el Carbonífero Inferior, el Permo-Triásico y el Cretácico, relacionados con actividad magmática y térmica.

Antecedente 4. Dalmayrac et al. (1988), en el boletín N°12 de INGEMMET titulado *“Caracteres generales de la evolución de los Andes peruanos”*, describen el substrato precámbrico en la Cordillera de los Andes peruanos, identificando una discordancia angular regional entre un complejo metamórfico polifásico y las series del Paleozoico inferior, lo que evidencia la presencia de un zócalo precámbrico. En Huánuco, se observó la discordancia de Huacar, donde sedimentos ordovícianos fosilíferos reposan sobre esquistos metamórficos, y en



el valle de Chaupihuaranga y Maray, un conglomerado de base separa los esquistos precámbricos de las series paleozoicas. Los autores describen que los terrenos precámbricos presentan una tectónica polifásica, caracterizada por una estructura planar evidente, que corresponde a una foliación o esquistosidad, dependiendo del grado de metamorfismo. Se identifican cuatro fases de plegamiento: la primera fase, contemporánea con el metamorfismo inicial, es difícil de observar en campo y se manifiesta en microestructuras internas. La segunda fase, más visible, genera micropliegues isoclinales y una foliación general dominante con dirección E-O. La tercera fase introduce pliegues más rígidos con esquistosidad de plano axial, mientras que la cuarta fase, post-metamórfica, forma pliegues en chevron sin esquistosidad, con direcciones N-S y E-O. Los análisis de circones mediante el método U/Pb en granulitas de Puente Durán en Huánuco, indican edades entre 610 y 630 Ma con una pérdida de plomo radiogénico durante un evento metamórfico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Antecedente 5. Patiño (2021) en su tesis de pregrado titulada “Caracterización petrográfica y litogeoquímica de rocas metamórficas entre los paralelos 4° 52' S Y 4° 59' S (Dominio Olmos - Loja) en el norte del Perú” de Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, caracterizó el grado y facies metamórficas del dominio estructural Olmos-Loja en el norte del Perú y sur de Ecuador entre los paralelos 4° 52' S Y 4° 59' S para contribuir a la comprensión de la evolución geológica de las rocas metamórficas de este Dominio. Realizó trabajos de campo, con el cartografiado a escala 1:50 000 de las unidades geológicas y recolectó 22 muestras para secciones delgadas, así como 20 muestras para geoquímica de roca total. La autora identificó tres zonas metamórficas distintas: una de metamorfismo débil o muy bajo grado, con pizarras grafitosas y filitas; otra de grado bajo a medio, representada por micaesquistos de biotita y moscovita, gneis con biotita y anfibolita, indicando una transición hacia facies anfibolíticas; y una tercera zona de metamorfismo de medio a muy alto grado, compuesta por gneis migmatíticos con granate, cianita, sillimanita y cordierita, características de facies de



anfíbolita. Este estudio nos ofrece un marco de referencia valioso de la metodología a seguir para determinar el grado y facies metamórficas cualitativamente mediante el estudio petrográfico.

Antecedente 6. Soaña (2009) en su tesis de pregrado titulada “Estudio petrográfico y geoquímico del Complejo Marañón en los departamentos de Amazonas y La Libertad” de Universidad Nacional del Altiplano, determinó las características petrográficas y geoquímicas del Complejo Marañón en los departamentos de Amazonas y la Libertad, la autora recolectó 74 muestras de mano, seleccionando 36 representativas para análisis petrográfico debido a su variación litológica y disposición espacial. Reconoció estructuras, texturas y ensambles mineralógicos de las rocas, utilizando difracción de rayos X para muestras de grano muy fino (<1 mm); además, realizó análisis químicos en 34 muestras para interpretar los protolitos y facies metamórficas mediante diagramas ACF, A'KF, AFM, y redes petrogenéticas. Las rocas de Balsas – Tuen mostraron ser secuencias volcánicas y sedimentarias con metamorfismo de mediano a bajo grado (facies esquistos verdes – anfíbolitas), mientras que las de Pucara – Calemar fueron secuencias volcánicas y pelíticas con metamorfismo de bajo a muy bajo grado (facies esquistos verdes a sub-esquistos verdes). Este estudio proporciona tanto un contexto metodológico valioso y un conjunto de datos comparativos que permitirán robustecer y respaldar los hallazgos en el Complejo Metamórfico del Marañón en este estudio.

2.1.3. Antecedentes internacionales

Antecedente 7. Valdielly et al. (2020) en su investigación titulada “Metamorphic evolution of metasedimentary rocks of the Feira Nova region: Tectonic implications for the Brasiliano Orogeny in eastern Borborema Province, Northeast Brazil” del Journal of South American Earth Sciences. Realizaron estimaciones termobarométricas y mapas de rayos X para analizar la evolución metamórfica de rocas meta sedimentarias del Complejo Surubim en Feira Nova, noreste de Brasil. Investigaron esquistos de biotita con sillimanita, esquistos de granate-biotita y gneises, revelando diferentes fases de crecimiento y patrones de zonificación retrógrada en biotita y granate. Los núcleos de granate con altos contenidos de Ca y Mg, junto con altos niveles



de Ti en biotita, reflejaron condiciones de equilibrio durante el pico metamórfico. En contraste, los bordes de estos minerales mostraron menores contenidos de estos elementos, sugiriendo enfriamiento y descompresión. Utilizaron el geotermómetro granate-biotita y el geobarómetro GASP con el que determinaron condiciones de alta temperatura ($\sim 650\text{--}760\text{ }^{\circ}\text{C}$) y presión media ($\sim 0,6\text{--}0,9\text{ GPa}$) durante el pico metamórfico, coincidiendo con el desarrollo de foliación plana y anatexis local. La exhumación fue indicada por los bordes de granate, mostrando profundidades de $\sim 19\text{--}11\text{ km}$ ($\sim 0,4\text{--}0,3\text{ GPa}$) a $\sim 590\text{--}520\text{ }^{\circ}\text{C}$, probablemente bajo un régimen transpresional. Los datos sugirieron bajas tasas de exhumación y enfriamiento, con una trayectoria presión-temperatura en sentido horario asociada al engrosamiento intracontinental y posterior exhumación con bajas tasas de erosión y enfriamiento. Este estudio servirá de referencia metodológica ya que ofrece un ejemplo de trayectoria presión-temperatura (P-T) útil para el estudio. Además, proporciona modelos de exhumación y enfriamiento para interpretar procesos post-metamórficos.

Antecedente 8. Gonzales & Cábana (2006) en su investigación titulada “Mineralogía y trayectoria textural de anfibolitas de la Sierra de Bachicha, Sistema de Tandilia. Buenos Aires”. Realizaron un análisis detallado de las rocas metamórficas asociadas a gneises y migmatitas con relictos de granulitas máficas como inclusiones. Mediante el estudio petrográfico, determinaron las asociaciones minerales y aproximaron la trayectoria de P-T de manera cualitativa, comparando sus resultados con trabajos experimentales previos para distintos grados metamórficos, permitiéndoles identificar cuatro episodios de metamorfismo regional: M1-t1 en facies granulita de presión intermedia, M2-t2 como pico metamórfico en facies anfibolita alta, M3-t3 durante la retrogradación post-pico en facies anfibolita baja, y M4-t4 en facies prehnita-pumpellyita. Este estudio es crucial para comprender las trayectorias metamórficas y los episodios de metamorfismo en contextos geológicos similares, proporcionando una metodología referencial para la identificación de estos episodios y las asociaciones mineralógicas correspondientes en la determinación cualitativa de las curvas P-T-t.



Antecedente 9. Guerreschi & Martino (2003) en su investigación titulada “Textural path of metamorphic rocks from central portion of the eastern side of Sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina” de la revista de la Asociación Geológica Argentina, realizaron un estudio petrográfico detallado de gneises biotíticos y migmatitas para determinar la paragénesis mineral y las texturas de reacción, estimando las condiciones de presión y temperatura (P-T) donde distinguieron seis eventos metamórficos: M1, de grado medio y prógrado con estaurolita+biotita y presiones altas con rutilo+granate+biotita; M2, el pico térmico con fusión parcial y características de granate+sillimanita a $T=776^{\circ}\text{C}$ y $P=7.9\text{Kbar}$; M3, deformación intensa por cizalla a alta temperatura; M4, retrógrado con descenso de presión y coronas de plagioclasa alrededor de granate; M5, con coronas de biotita alrededor de granate, indicativas de enfriamiento continuo; y M6, de baja temperatura. Este antecedente es significativo para entender las trayectorias metamórficas y los episodios de metamorfismo, servirá de referencia de la metodología usada para la identificación de episodios de metamorfismo mediante las asociaciones mineralógicas para interpretar los datos de presión y temperatura obtenidos en la investigación actual.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Nomenclatura de rocas metamórficas

La Subcomisión Sistemática de Rocas Metamórficas (SCMR) forma parte de la Comisión Sistemática en Petrología (CSP) de la IUGS, y tiene como objetivo proporcionar esquemas sistemáticos de terminología y definiciones de rocas que son ampliamente aceptables y aptas para uso internacional.

Fettes & Desmons (2011), mencionan que las principales características de las rocas metamórficas que son ampliamente utilizadas para su clasificación son:

- a) Los minerales presentes.
- b) La estructura de la roca.
- c) La naturaleza de la roca antes del metamorfismo.



- d) Las condiciones genéticas del metamorfismo (generalmente en términos de presión y temperatura, con o sin deformación).
- e) La composición química de la roca.

De los anteriores, (a) y (b) forman los parámetros principales más obvios para la clasificación de rocas o nomenclatura, y también involucran indirectamente clasificaciones basadas en (c) y (d). El contenido mineral también proporciona necesariamente mucha información básica para (e) si este no depende del uso de técnicas especializadas para el análisis químico (Fettes & Desmons, 2011).

2.2.2. Grado metamórfico

De acuerdo a Fettes & Desmons (2011), el grado metamórfico se usa para cualificar las condiciones relativas del metamorfismo, generalmente en términos de temperatura. Por ello, el grado metamórfico se subdivide en 5 partes: grado muy bajo, bajo, intermedio, alto, y muy alto (Tabla 4), Esto permite dividir el campo P-T en 25 partes, cada una se cualifica de forma combinada, por ejemplo, metamorfismo de presión intermedia-baja temperatura (Figura 2).

Tabla 4. Rangos más comunes de temperatura y presión del metamorfismo.

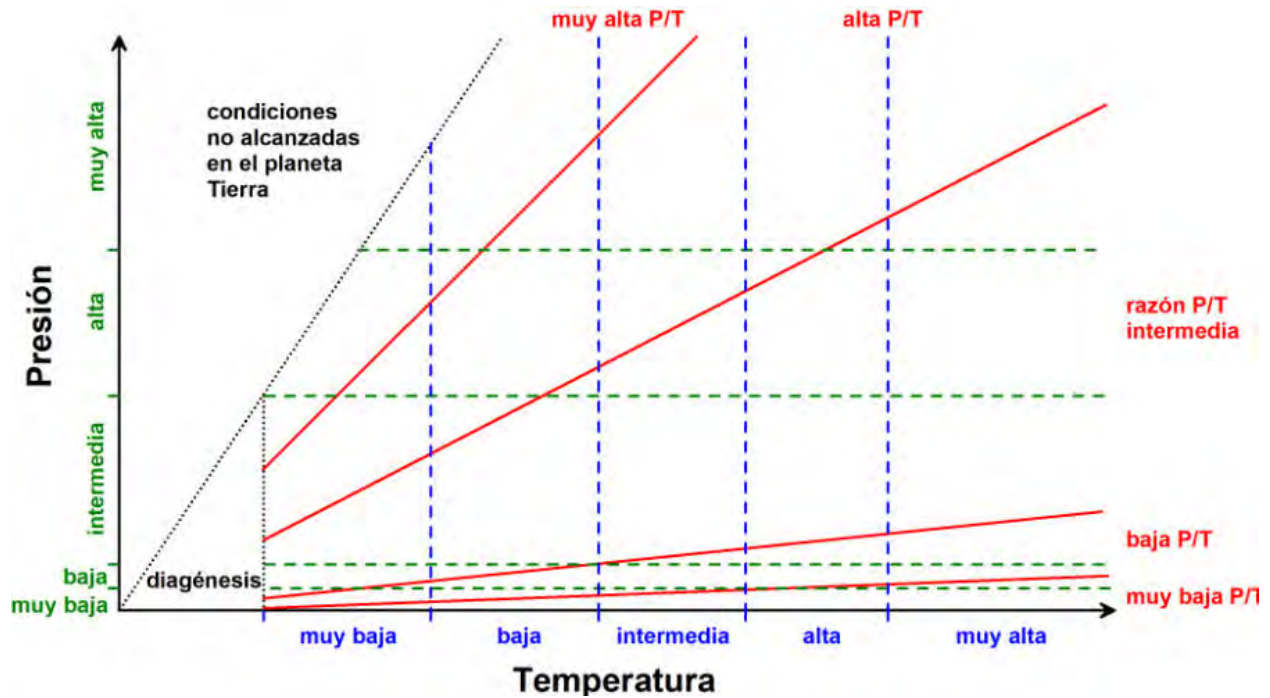
RANGO	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (Kbar)
Muy bajo	200-350	0 -1
Bajo	350-525	1 - 2.5
Medio	525-650	2.5 - 6.5
Alto	650-750	6.5 - 12
Muy alto	750-800	>12

Fuente: González & Marcos (2023).

González & Marcos (2023), menciona que una de las formas de estimar las condiciones de P-T de formación de las rocas metamórficas son mediante los minerales índices y facies metamórficas mediante la asociación mineral que presentan.



Figura 2. Representación esquemática en el espacio P-T de los cinco sectores de temperatura y presión, y los cinco sectores radiales de razones P/T.



Fuente: Fettes & Desmons (2011).

2.2.3. *Minerales índices y zonas minerales*

Barrow (1893) en el trabajo de metamorfismo regional en las rocas pelíticas de los Highlands escoceses, reconoció zonas metamórficas basadas en la aparición de un nuevo mineral en la roca pelítica metamorfozada al aumentar el grado metamórfico. El nuevo mineral que aparece y caracteriza a cada zona recibe el nombre de mineral índice.

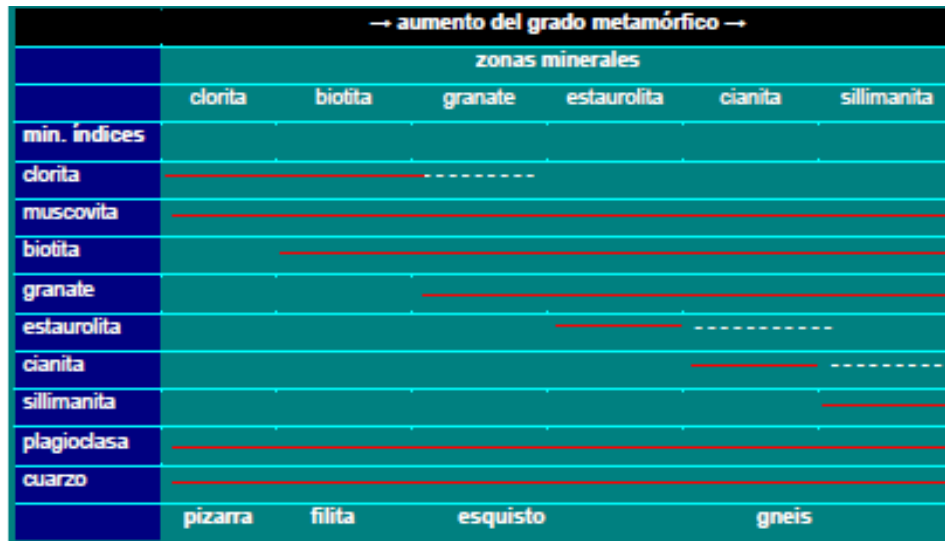
Barrow (1893) definió la siguiente sucesión de minerales índice con grado metamórfico creciente:

Clorita → Biotita → Granate Almandino → Estaurolita → Cianita → Sillimanita

En la Figura 3 se observa la secuencia zonal elaborada por Barrow relacionada con los minerales índices, definidos por cambios mineralógicos progresivos en rocas de bajo hasta alto grado (Barrow, 1893).



Figura 3. Relación entre minerales índices y zonas minerales de Barrow según el grado metamórfico.



Fuente: González & Marcos (2023).

2.2.4. Facies metamórficas

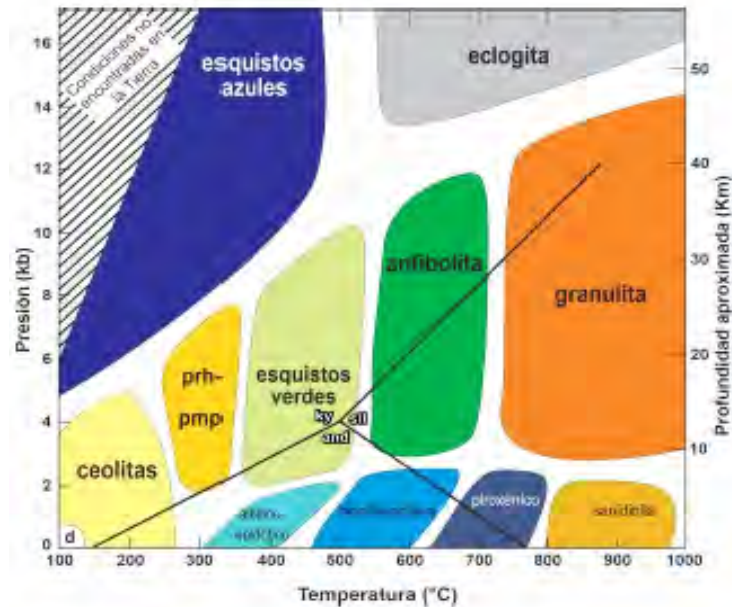
La unión internacional de ciencias Geológicas (IUGS, acrónimo en inglés) definió las facies metamórficas, siguiendo los conceptos de Eskola (1920), como un conjunto de asociaciones minerales metamórficas, vinculadas y repetidas en forma temporal y espacial. Los controles principales de las facies son las condiciones de T, P y la P de fluidos (Fettes & Desmons, 2011)

Yardley (2020), menciona que las facies se utilizan, sobre todo, para el metamorfismo regional de metabasitas y metapelitas, en conjunción con los esquemas de zonas minerales de Barrow / Buchan. El espacio T-P se divide en 11 facies metamórficas: facies de ceolitas, prehnita-pumpellyta, esquistos verdes, anfibolita, granulita, hornfels albita-epidota, hornfels hornblendífero, hornfels piroxénico, hornfels sanidínico, esquistos azules y eclogita con límites que no son absolutos, sino que son “zonas transicionales” (Figura 4) (Yardley & Warren, 2021).

Los límites entre las distintas facies representan rangos de T-P a los cuales se producen las principales reacciones metamórficas de aparición o desaparición de los minerales.



Figura 4. Diagrama T-P con las distintas facies metamórficas y sus límites aproximados.



Fuente: Yardley (2020)

Tabla 5. Síntesis de las facies metamórficas y sus minerales diagnósticos para distintas composiciones de protolitos. (1) metamórficas, (2) metapelitas, (3) metacarbonáticas.

FACIES	MINERALES DIAGNÓSTICOS	TIPO FACIES
Ceolitas	Heulandita, analcima, laumontita	Muy bajo grado (Sub-esquistos verdes)
Prehnita-pumpellyta	Prehnita, pumpellyta, estiplomelano	
Esquistos azules	Glaucofano, lawsonita, fengita, paragonita, jadeita, carfolita, aragonita.	Alta presión
Eclogita	Onfacita + granate (sin plagioclasa)	Presión moderada y temperatura media alta
Esquistos verdes	(1) Clorita, albita, epidoto, tremolita-actinolita.	
	(2) Moscovita, clorita, albita, cuarzo, cloritoide, biotita, granate (Mn-espesartina).	
	(3) Calcita, dolomita, talco, flogopita.	
Anfibolita	(1) Hornblenda, plagioclasa, epidoto, granate, cummingtonita, dióxido de silicio.	
	(2) Plagioclasa, granate (Fe-almándino), estauroлита, cianita, sillimanita.	
	(3) Calcita, dolomita, tremolita-actinolita.	
Granulita	(1) Orto y clinopiroxeno, hornblenda, plagioclasa, granate.	
	(2) Granate, cordierita, sillimanita, feldespato K.	
	(3) Calcita, dolomita, dióxido de silicio, forsterita.	

Fuente: González & Marcos (2023).



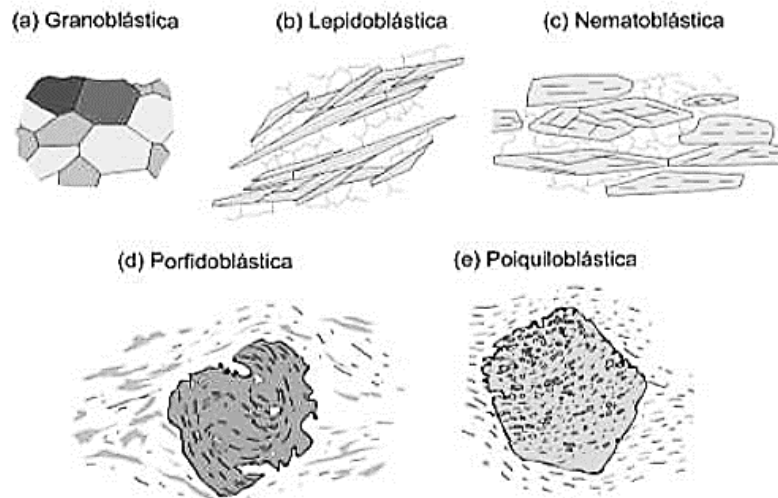
2.2.5. Petrografía metamórfica

2.2.5.1. Texturas básicas

Las texturas que se harán uso en las descripciones petrográficas se describen a continuación, según Castro A. (2015).

- **Textura granoblástica:** Se trata de un mosaico equi- o inequigranular de cristales equidimensionales o de cristales inequidimensionales con orientación al azar. Predominan los cristales alotriomorfos, pero también se dan las texturas granoblásticas con cristales subidiomorfos. Es la textura más típica de corneanas, granulitas, mármoles, cuarcitas y peridotitas metamórficas (Figura 5, esquema a).
- **Textura lepidoblástica:** la orientación preferente de minerales viene dada por la disposición subparalela de minerales planares (Figura 5, esquema b).
- **Textura nematoblástica:** la orientación preferente viene dada por la disposición subparalela de minerales prismáticos (normalmente anfíboles o piroxenos). Es una textura muy típica de las anfibolitas (Figura 5, esquema c).
- **Textura porfiroblástica:** Definida por la presencia de cristales (porfidoblastos) de tamaño marcadamente superior a los minerales que los rodean, que forman la matriz. El aspecto de una roca porfiroblástica puede ser muy similar al de una roca porfídica magmática, pero el origen es totalmente distinto. Los porfidoblastos se forman por una reacción metamórfica en estado sólido. En ocasiones los porfidoblastos, que generalmente son idioblásticos, pueden presentar abundantes inclusiones de minerales de la matriz, similares a los oikocristales de las texturas poiquilíticas ígneas, en cuyo caso se denominan poiquiloblastos, y la textura resultante poiquiloblástica (Figura 5, esquema e). La matriz de una roca porfidoblástica puede ser de cualquiera de los tipos antes descritos o alguna combinación de estos (Castro A., 2015).

Figura 5. *Texturas comunes de las rocas metamórficas*



Fuente: Castro A. (2015).

2.2.5.2. Asociaciones minerales y equilibrio químico

González & Marcos (2023), mencionan que es necesario examinar la petrografía con lupa de mano y microscopio de polarización para determinar el equilibrio químico de una roca metamórfica. Los minerales en equilibrio son los que se encuentran en contacto racionales entre sí, con límites coherentes entre cristales y un tamaño de grano uniforme. No deben tener zonación composicional, ni reemplazos que los separe de otros minerales en alguna parte del contacto, ni alteraciones supergénicas posteriores. Cada asociación mineral representa cada una de las condiciones de T-P reunidas a lo largo de la evolución metamórfica de la roca que la contiene. De las asociaciones y paragénesis mineral quedan excluidos los minerales del protolito (relícticos) y las alteraciones supergénicas.

Los autores también mencionan que es necesario tomar en consideración que las rocas no siempre conservan todas las asociaciones minerales que experimentan a lo largo de su evolución metamórfica, en tal caso se debe asumir que (1) el grupo de minerales más representativo por abundancia modal o composicional, que se tocan entre sí, corresponde a la asociación y 2) que dicha asociación mineral corresponde a las condiciones de T y P máximas alcanzadas.



2.2.5.3. Texturas de desequilibrio mineral

Una reacción metamórfica incompleta puede deberse a la modificación de la T y/o P, a velocidades lo suficientemente rápidas para discontinuar el desarrollo completo de la reacción. Otra de las causas puede estar asociada a la consumición de uno de los minerales que forman parte de los reactantes o la extracción del fluido químicamente activo. (González & Marcos, 2023).

a) Inclusiones minerales: Durante la blastesis, los minerales neoformados tienden a crecer libres de inclusiones para minimizar la energía de la superficie. El estudio de las inclusiones de los poiquiloblastos, y de algunos minerales de la matriz que contienen inclusiones de otros minerales, permite extraer información detallada sobre condiciones y procesos metamórficos previos a la formación de la asociación mineral de equilibrio observada en la roca. Estas inclusiones son remanentes de reacciones metamórficas que han quedado “grabadas” en el registro de la roca y que tienen el potencial de brindar datos cuali- y cuantitativos de las condiciones de P-T del metamorfismo. Además, son útiles para acotar mejor alguna etapa de la trayectoria evolutiva, especialmente si los minerales de las inclusiones ya no existen en la matriz de la roca. Pero no todas las inclusiones brindan esta información porque son minerales estables en un amplio rango de condiciones como el cuarzo o la plagioclasa (González & Marcos, 2023).

b) Zonación composicional de los cristales: El crecimiento de minerales neoformados, alrededor de los núcleos de la misma especie mineral, se produce cuando alcanzan condiciones de estabilidad de una nueva asociación mineral. Algunos minerales metamórficos mudan de composición en respuesta a condiciones cambiantes, ya sean físicas de P-T, químicas como saturación o déficit de iones y naturaleza de los fluidos o tectónicas de tasa de cizalla.

Los cambios composicionales de los minerales se pueden registrar en la etapa prograda y retrograda. Los minerales tienen características químicas y estructurales cristalinas (isomorfismo/polimorfismo) que permiten que las composiciones adquiridas en etapas tempranas

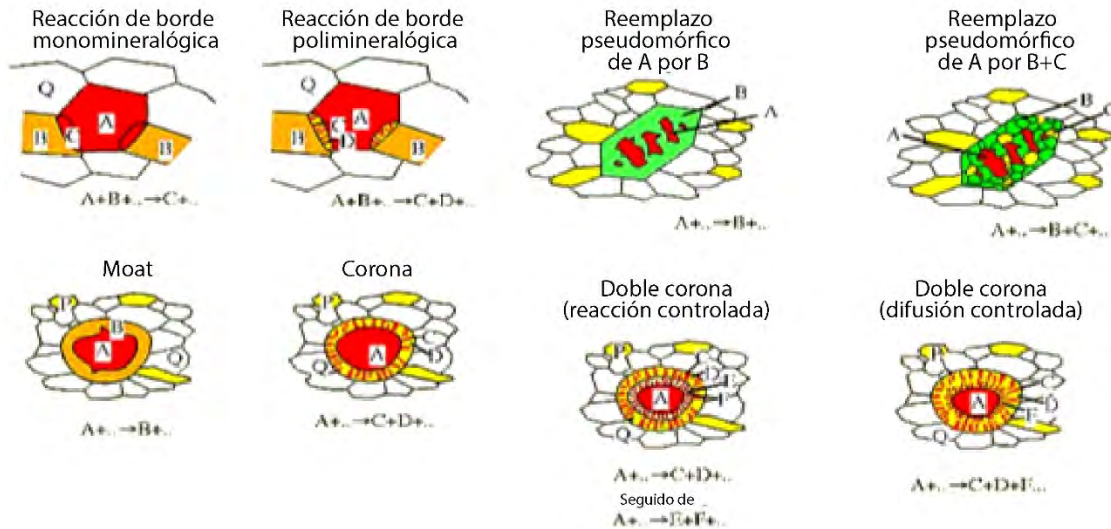


de su historia de crecimiento se conserven con posterioridad bajo condiciones P-T cambiantes a lo largo de su evolución metamórfica (González & Marcos, 2023).

c) Texturas de reacción: En ciertos casos, las rocas pueden conservar minerales que indican reacciones metamórficas incompletas, que permiten ubicar con bastante precisión los rangos T-P de alguna parte de la trayectoria (González & Marcos, 2023).

- **Nucleación:** se produce un recrecimiento o sobrecrecimiento alrededor de los granos minerales preexistentes, en algunos casos con composiciones diferentes, dando lugar a una textura de reacción (Passchier & Trouw, 2005).
- **Reemplazo pseudomórfico:** uno o más minerales huéspedes pueden conservar su forma incompleta dentro de un mineral hospedante. La reacción metamórfica involucrada puede ser prógrada o retrógrada. La clorita xenoblástica incluida dentro de biotita subidioblástica indica que la roca estuvo previamente en el campo de estabilidad de la primera, que las condiciones P-T cambiaron y cuando la matriz se reequilibró a las nuevas condiciones, se encontraba en el campo de estabilidad de la biotita. La reacción metamórfica fue incompleta porque no se consumió toda la clorita. La interpretación de esta textura de reemplazo pseudomórfico es un aumento de la T entre los campos de estabilidad de la clorita y biotita (Passchier & Trouw, 2005)
- **Bordes de reacción:** El desarrollo de estos bordes es importante para establecer la secuencia de reacciones metamórficas experimentadas por una roca. El mineral que rodea siempre es posterior al rodeado central. En muchas ocasiones el reemplazo es incompleto o parcial y se pueden identificar los minerales involucrados en la reacción. Cuando el borde de reacción tiene forma de anillo que rodea por completo al mineral reemplazado, la textura de reacción se denomina corona. Los minerales neoformados por reacción metamórfica también pueden disponerse en forma de intercrecimientos
- lamelares o vermiculares finos denominados simplecitas (Passchier & Trouw, 2005).

Figura 6. Tipos de bordes de reacción. Reacciones probables que causan bordes de reacción. A – F son minerales involucrados.



Fuente: Passchier & Trouw (2005) .

2.2.6. Trayectorias de presión-temperatura-tiempo.

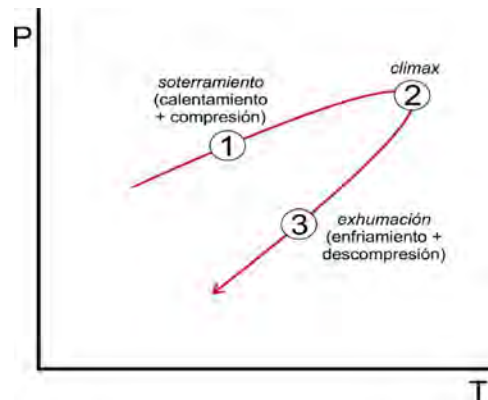
González & Marcos (2023), indican que la trayectoria presión (P) - temperatura (T) – tiempo de una roca metamórfica es el conjunto de todas las condiciones P-T experimentadas por la misma durante su historia metamórfica ya que los cambios de T y P durante el metamorfismo son dinámicos en un lapso determinado. La trayectoria es una línea que tiene una forma curva o de bucle que conecta todos los puntos de P-T a los que se ha visto sometida una roca desde el comienzo de su historia metamórfica (soterramiento) hasta el momento de su exposición en superficie (exhumación) (Figura 7).

2.2.6.1. Tipos de P-T-t y su significado tectónico

Según González & Marcos (2023), se pueden encontrar 3 tipos de trayectorias de P-T-t (Figura 8). La trayectoria horaria es característica de orógenos colisionales, de áreas de cabalgamientos y zonas de subducción. La antihoraria caracteriza a algunos sectores de la corteza continental sometidos a soterramiento, pero que ya están activados térmicamente o ha sido precalentados por otro proceso geológico



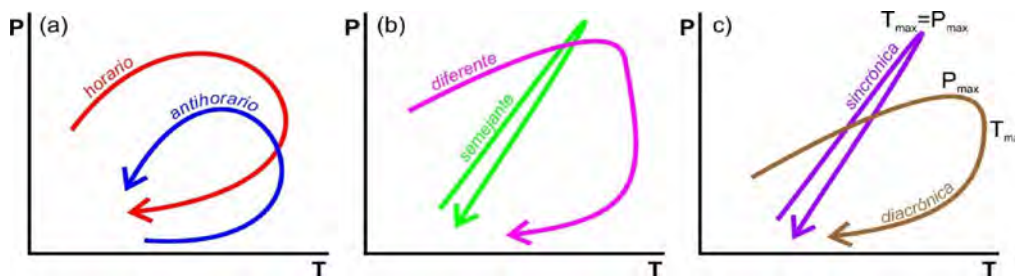
Figura 7. Trayectoria P-T-t



Fuente: González & Marcos (2023).

Nota. La figura muestra 3 tiempos, tiempo 1 correspondiente al soterramiento, tiempo 2 que indica el clímax del metamorfismo y tiempo 3 que indica la exhumación.

Figura 8. Distintos tipos de trayectoria P-T-t.



Fuente: González & Marcos (2023).

Nota. (a) Horaria y antihoraria. (b) Con segmentos pródigo y retrógrado más o menos iguales y disímiles. (c) Sincrónicas o diacrónicas, según el momento de alcanzar la T y P máximas.

2.2.6.2. Petrografía y su relación con las curvas de P-T-t

González & Marcos (2023), indican que el estudio petrográfico se basa en el análisis de los minerales y las texturas metamórficas y es un método cualitativo para poder determinar las curvas de P-T-t. Se identifican las asociaciones minerales en equilibrio y la paragénesis mineral; para ello, se recurre a la observación de los porfidoblastos y la matriz, de las inclusiones minerales, zonación composicional de los cristales, microestructuras de reacción y microestructuras. Luego se evaluará de forma cualitativa la T y P prevaletientes para cada asociación que representará alguna etapa en la historia metamórfica de la roca.



2.2.7. Milonitas

La milonita es una roca de cualquier composición, usualmente asociada con zonas de cizalla y que tiene una estructura específica indicativa de una fuerte deformación dúctil, que es mayor respecto de su roca de caja adyacente (Passchier & Trouw, 2005).

2.2.7.1. Clasificación de milonitas

Passchier & Trouw (2005) clasifican a las milonitas de la siguiente manera:

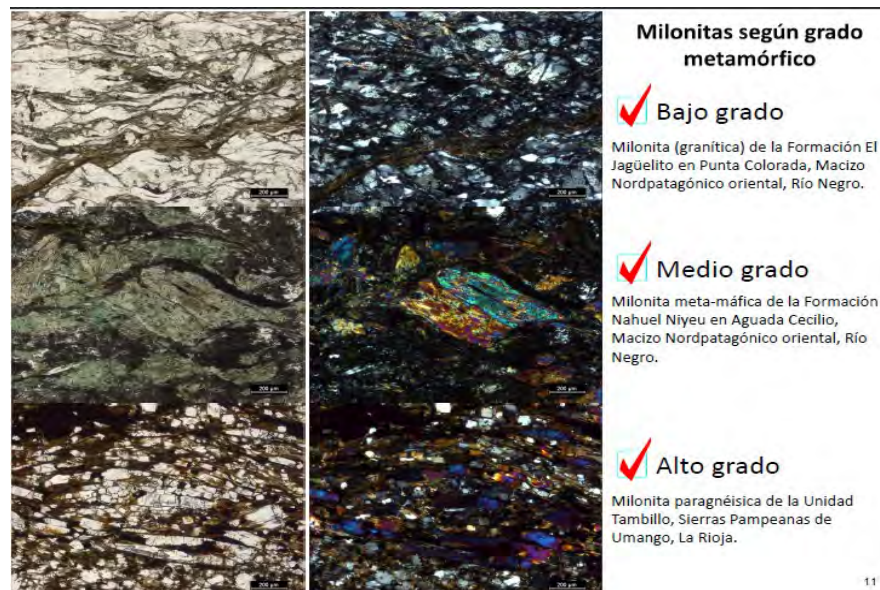
- **Relación (%) matriz /porfiroclastos:** Esta clasificación común se basa en el porcentaje de matriz en comparación con los porfiroclastos. Las rocas con 10-50% de matriz se clasifican como protomilonitas, con 50-90% de matriz como milonitas (o mesomilonitas), y con más de 90% de matriz como ultramilonitas. Sin embargo, esta clasificación tiene problemas, ya que se debe definir un límite arbitrario entre el tamaño de grano de la matriz y el tamaño de grano de los porfiroclastos (Passchier & Trouw, 2005).
- **Grado metamórfico:** Las milonitas se clasifican según el grado metamórfico en el que se produjo la deformación (alto, medio y bajo grado).
- **Tipo de roca:** según el litotipo o mineralogía en el que se desarrollan, como cuarcita-milonita, granodiorita-milonita, o milonita de cuarzo-feldespato. Si la milonita se desarrolla en una roca monomineral, se conoce como calcita-milonita, cuarzo-milonita, etc. (Passchier & Trouw, 2005)

2.2.7.2. Desarrollo de milonitas en diferentes condiciones metamórficas

El tejido de las milonitas depende en gran medida del tipo de roca y su estructura original, pero existe un gradiente general de tejido para todos los tipos de rocas con grado metamórfico creciente. Este gradiente depende de la reología y la temperatura de fusión de los minerales constituyentes (Passchier & Trouw, 2005).

- **Bajo grado metamórfico:** Los minerales se deforman por fractura frágil, formando una roca de falla frágil. En condiciones de baja temperatura, un mineral se deforma de manera quebradiza, mientras que otro lo hace por fluencia de dislocación. En estas condiciones, las diferencias de tensiones son altas, lo que resulta en milonitas de grano fino con porfiroclastos angulares y fragmentados incrustados en granos deformados dúctilmente. Las foliaciones y las líneas suelen estar bien desarrolladas, y las zonas de milonita tienden a ser estrechas con límites definidos (Passchier & Trouw, 2005).
- **Grado metamórfico medio:** Los minerales se deforman por procesos cristal plásticos, pero uno sigue siendo más fuerte que el otro. Esto da lugar a milonitas bien desarrolladas con una foliación que contiene fragmentos de porfiroclastos parcialmente recrystalizados. En estas condiciones, las foliaciones y lineaciones están bien desarrolladas (Passchier & Trouw, 2005).

Figura 9. Clasificación de milonitas según su grado metamórfico.



Fuente: González & Marcos (2023).



- **Grado metamórfico alto:** Las zonas de corte tienden a ser más anchas que en grados inferiores, ya que los mecanismos de ablandamiento y localización son menos eficientes. Esto se debe a que la diferencia en reología entre los minerales disminuye, la difusión se vuelve más importante y las tensiones diferenciales son bajas. A baja velocidad de deformación, el resultado puede ser una roca estratificada con pocos porfiroclastos y un tamaño de grano relativamente grueso en la matriz, que puede tener forma reticular (Passchier & Trouw, 2005).

2.2.7.3. Cambios mineralógicos en el cuarzo y feldespatos según el grado metamórfico de las milonitas

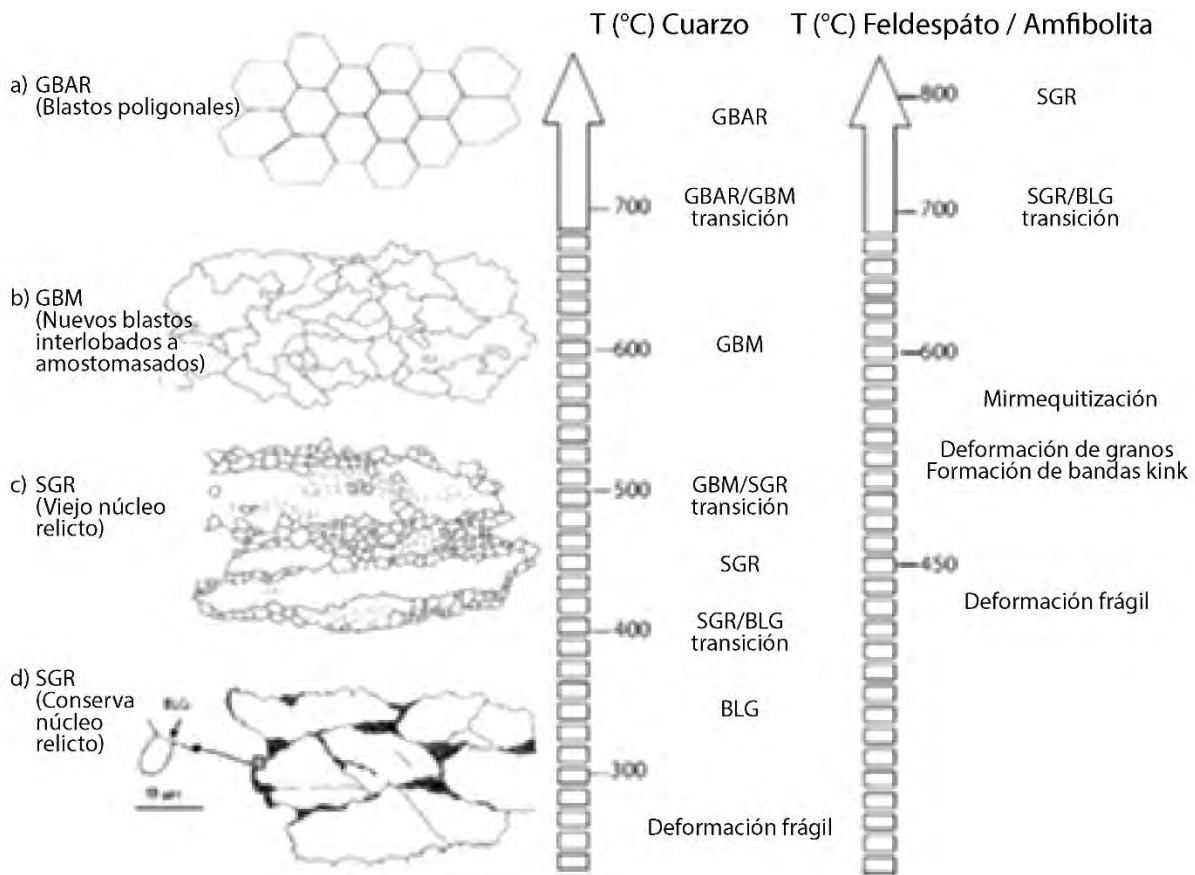
El grado metamórfico debe hacerse utilizando minerales que han crecido o recristalizado durante la deformación (Passchier & Trouw, 2005).

Las recristalizaciones dinámicas o plásticas se definen como la remodelación inducida por la deformación de los tamaños de grano, formas u orientaciones con poco o ningún cambio químico. Esto ocurre cuando se alcanzan más tarde durante los eventos tectonotérmicos los intervalos de temperatura de recristalización del mineral del protolito. Los minerales plásticos recristalizados muestran varias microestructuras, como el abultamiento (Bulgin-BLG), la rotación de subgranos (Subgrain rotation-SGR), la migración de los límites de grano (Grain boundary migration-GBM) y la reducción del área del subgrano (Grain boundary area reduction -GBAR) desde niveles bajos de temperatura hasta altas y altas temperaturas, respectivamente (Owona et al., 2013).

El abultamiento BLG, que ocurre a temperaturas más bajas, consiste en una migración lenta de los límites locales de los granos hacia o desde los porfiroclastos se observan protuberancias y granos recristalizados a lo largo de los límites de grano y, en menor medida, extendiéndose a lo largo de micro fisuras (Figura 10d). La SGR progresiva ocurre a temperaturas medias, con separación del grano antiguo que atraviesa el límite del subgrano o del grano nuevo y pequeñas apariciones que rodean los núcleos antiguos (Figura 10c). Los GBM, que ocurren a

altas temperaturas, se caracterizan por límites minerales ondulados donde se observan formas de grano irregulares y variadas, con límites de grano que consisten en suturas entrelazadas (figura 10b). El GBAR define la etapa final de deformación plástica del mineral antiguo en condiciones de temperatura más alta, donde los granos nuevos y pequeños con límites ondulados desplazan explosivamente los antiguos minerales centrales, reemplazándolos con puntos triples (Figura 10a) (Owona et al., 2013).

Figura 10. Características de la recristalización dinámica y las condiciones de temperatura relacionadas.



Fuente: Owona et al. (2013).



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método científico

La investigación es:

3.1.1. Enfoque de investigación

Enfoque cualitativo. Este enfoque se centra en la comprensión de fenómenos a través de la interpretación y análisis de datos no numéricos, como descripciones detalladas y observaciones (Ñaupas et al., 2018). En el estudio se realizaron descripciones detalladas de las asociaciones mineralógicas y las facies metamórficas de las rocas, lo cual implica observaciones cualitativas sobre las texturas y relaciones entre minerales.

3.1.2. Tipo de investigación

El tema de estudio es de tipo exploratorio-descriptiva

Investigación exploratoria. Según Sampieri (2014), su objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. El estudio abarca la evolución de las condiciones de P-T del metamorfismo, tema muy poco estudiado en las rocas metamórficas del país y no se cuenta con antecedentes acerca del tema en el área de estudio.

Investigación descriptiva. Según Sampieri (2014), este tipo de investigación describe cómo es y se manifiesta determinado fenómeno especificando las propiedades importantes del fenómeno. En el estudio se describieron las características petrográficas de las rocas metamórficas lo que permitirá determinar la evolución de las condiciones de P-T de estas.

3.1.3. Nivel de investigación

Descriptiva. Cuyo objetivo principal es recopilar datos e informaciones sobre las características, propiedades, aspectos o dimensiones, clasificación de los objetos, o de los procesos naturales o sociales. Un estudio descriptivo determina e informa los modos de ser de los objetos. (Ñaupas Paitán et al., 2018). En el estudio se describieron las asociaciones y texturas minerales de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón, así como las facies y grados metamórficos.



3.1.4. Método de investigación

Estudio de caso. Según Hernández et al. (2006), este método analiza profundamente una unidad holística para responder al planteamiento del problema, probar hipótesis y desarrollar alguna teoría. Este estudio se realizó en una región particular del país realizando un análisis profundo de las asociaciones minerales y las condiciones metamórficas de cada unidad metamórfica.

3.1.5. Diseño de investigación

No experimental - Fenomenológico. Según Hernández et al. (2006), este diseño se enfoca en describir y entender los fenómenos desde el punto de vista de cada participante y desde la perspectiva construida colectivamente. El estudio se enfocó en observar y describir las características de cada unidad metamórfica del Complejo Metamórfico del Marañón para determinar la evolución de sus condiciones de P-T del metamorfismo que las afectó.

3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos
Cartografiado Geológico	Planos topográficos e imagen satelital, GPS, brújula, protactor, lupa, rayador, picota, tablero, libreta de campo, lápiz, entre otros.
Recolección de muestras	Plumón, bolsas de muestreo
Registro fotográfico	Cámara fotográfica
Estudio petrográfico	Fichas de descripción petrográfica, microscopio óptico Leica.

3.1.7. Población y muestra

La población de estudio son las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón comprendidas entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla de la Región de Huánuco, las muestras recolectadas fueron de afloramientos de rocas metamórficas donde se presenten cambio litológico y/o mineral y determinando la dirección de corte según sus características para el estudio petrográfico, tomando en consideración lo mencionado por Patiño C. (2021) y Soaña J. (2009) en sus investigaciones.



3.2. Método de trabajo

Para la realización de este trabajo la metodología usada se dividió en cuatro etapas, las cuales están encadenadas y ayudaron a alcanzar, de forma más efectiva, el objetivo de este trabajo.

3.2.1. Etapa de gabinete pre-campo

- a) Ubicación y delimitación del área de estudio.
- b) Recopilación bibliográfica de información existente en el área de estudio e investigaciones locales y regionales anteriores.
- c) Realización de mapa geológico preliminar del área (fotointerpretación) y obtención de archivos vectoriales con información geológica y estructural y (GEOCATMIN, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET).
- d) Delimitación de vías de acceso en el área de estudio.
- e) Elaboración de mapas referenciales de área de estudio, mapa topográfico haciendo uso de la base de datos del Instituto Nacional Geográfico del Perú (IGN) e imágenes satelitales Aster L1T, Landsat 8 OLI y Sentinel 2A de la USGS Earth Explorer del área de estudio, para su respectiva comprobación en campo.

3.2.2. Etapa de campo

En esta etapa se realizaron los trabajos de campo, con una campaña de 15 días en el mes de agosto del año 2022, en el marco del proyecto C50-6 – “Cartografiado geológico del cuadrángulo de Panao (20I) a escala 1:50 000” dirigido por el geólogo Marco Chumpitaz Ramírez a cargo de la dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades.

- a) Reconocimiento del área de estudio.
- b) Cartografiado geológico y comprobación de la fotointerpretación realizada en la etapa de pre-campo del área de estudio.



- c) Obtención de muestras orientada para estudios petrográficos donde se registraron en una libreta de campo la siguiente información.
- Coordenadas este y norte en el Sistema Transversal Mercator WGS84, Zona 18S.
 - Descripción detallada del afloramiento y muestra de mano de acuerdo con el manual de reconocimiento de rocas metamórficas de la USGS.
 - Toma de datos estructurales azimut, buzamiento, dirección de buzamiento.
 - Litología de acuerdo con el tipo de roca.
 - Código de muestra con la asignación de su tipo de estudio (petrográfico).
 - Código de fotografía orientada.

Las muestras para el estudio petrográfico se extrajeron de la parte más fresca del afloramiento, para este tratado se colectaron 17 muestras.

3.2.3. Etapa de laboratorio

Después de los trabajos de campo, las muestras seleccionadas y se trasladaron al área especializada de petrotomía de INGEMMET para la preparación de las secciones delgadas.

3.2.4. Etapa de gabinete post-campo

En esta etapa, se sistematizó la data obtenida en campo, organizando la información geológica y trasladando los puntos de control georreferenciados a una base de datos. Luego, se elaboró el mapa geológico en versión digital, siguiendo la guía del INGEMMET para realizar mapas de la cara geológica nacional, utilizando el programa ArcGIS 10.4. Además, se realizó la descripción macroscópica de las muestras y la descripción microscópica con el microscopio Leica DM750P y el software LAS EZ 3.4, empleando los formatos de descripción petrográfica proporcionados por el INGEMMET. El grado y la facie metamórfica fueron definidos mediante la descripción petrográfica de las muestras obtenidas de las unidades en estudio. Posteriormente, se contrastó e integró la información bibliográfica para estimar las condiciones de P-T con las evidencias de campo y las asociaciones minerales encontradas, culminando en la redacción de la tesis

CAPÍTULO IV: MARCO GEOLÓGICO

4.1. Geología regional

4.1.1. Estratigrafía regional

La estratigrafía regional del área de estudio se ha simplificado según las unidades litoestratigráficas presentes, que abarcan desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario del Cenozoico (Figura 11). Se tomó como referencia el cuadrángulo de Panao 20-I elaborado por De la Cruz et al. (1996) para la elaboración del mapa geológico regional del área de estudio (Anexo 2).

Figura 11. Columna estratigráfica regional.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA	ESPESOR Mts	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Eoceno	Depósitos Fluviales			Grava con clastos redondeados en una matriz limo arenosa. Grava polimictica con clastos subredondeados. Grava arenosa limosa de clastos subredondeados. Grava con clastos angulares polimictica en matriz arenosa.
			Depósitos Aluviales			
		Pleistoceno	Depósitos Glaciofluviales			
			Depósitos Morrénicos			
MESOZOICO	JURÁSICO	Inferior	Gpo. Pucará	+2000	Discordancia - Caliza espáritica y micrítica gris clara intercaladas con dolomita y arenisca calcárea. Presenta estructura de zebra y nódulos. - Limoarcillitas negras carbonosas intercaladas con areniscas calcáreas y calizas negras. - Caliza areniscosa gris blanquecina parcialmente dolomitizadas.	
		Superior				
	TRIÁSICO	Inferior				
PALEOZOICO	PERMICO	Superior	Gpo. Mitu	+2000	Discordancia Conglomerados polimícticos con areniscas marrón rojizas con intercalaciones de lutitas. Al techo, lavas andesíticas y tobas marrón rojizas	
NEOPROTEROZOICO			Complejo basal del Marañón		Discordancia Esquistos y micaesquistos Ortogneis de cuarzo y micas	

Fuente: De la Cruz et al. (1996) y Quispesivana L. (1996).

4.1.1.1. Complejo Metamórfico del Marañón (Neo Proterozoico)

Las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón afloran en el área de estudio corresponde al basamento más antiguo del área, en la cual De la Cruz et al. (1996) diferenciaron dos unidades metamórficas: esquistos y gneises.



Esquistos. Según De la Cruz et al. (1996), afloran en los poblados de Panao y Molino como esquistos de color gris a gris oscuro y verdosos asociados a vetillas de cuarzo paralelos a la esquistosidad. Estos consisten en esquistos cuarzo micáceos, cuarzo moscovíticos y esquistos de cuarzo biotita - moscovita con texturas granoblásticas, las asociaciones mineralógicas que se determinaron mediante el estudio petrográfico fueron: cuarzo-moscovita, cuarzo-moscovita-clorita, cuarzo-biotita-micas, micas-cuarzo.

Gneis. De la Cruz et al. (1996) diferenciaron esta unidad al suroeste de Panao, donde encontraron afloramientos de gneis con micas- cuarzo y plagioclasas, gneis de granate-moscovita-biotita y gneis de biotita-moscovita, las cuales las consideraron como las rocas más antiguas de la zona.

4.1.1.2. Grupo Mitu (Pérmico – Triásico Inferior)

De la Cruz et al. (1996) observaron el Grupo Mitu al este del poblado de Chaglla y en los alrededores de Tambo de Baca. Este grupo presenta un espesor aproximado de 2000 metros y yace en discordancia angular sobre las rocas metamórficas del Neoproterozoico. Según De la Cruz et al. (1996), está compuesto por conglomerados, areniscas y lutitas, con intercalaciones locales de rocas volcánicas, incluyendo lavas y piroclastos verdosos y violáceos. La base del Grupo Mitu consiste principalmente en conglomerados intercalados con areniscas, con rodados de rocas graníticas, metamórficas y sedimentarias bien redondeados. La parte intermedia está mayormente compuesta por areniscas de grano medio a fino de color marrón, bien estratificadas y localmente tufáceas, intercaladas con lutitas y conglomerados. La parte superior, observada por De la Cruz et al. (1996), contiene lavas andesíticas y tufos de color marrón rojizo a verdoso, aflorando principalmente en el río Santa Cruz y Chaglla.

4.1.1.3. Grupo Pucará (Triásico Superior)

En el mapa geológico a escala 1:100 000 de cuadrángulo de Panao (201) realizado por De la Cruz et al. (1996), el Grupo Pucará se observa formando una faja con dirección NNO-SSE e indican que tiene un espesor aproximado de 2000 m, aflorando ampliamente cerca de Tingo



María. Este grupo descansa concordantemente sobre el Grupo Mitu. Litológicamente, la base del Grupo Pucará lo describen como calizas micríticas, algo dolomíticas, bituminosas y nodulares, con estratificación mediana a gruesa. La parte intermedia presenta intercalaciones de lutitas y calizas, con lutitas gris oscuro a negro en bancos medianos y calizas micríticas gris oscuro a negro, semibituminosas, ocasionalmente arcillosas o limosas con concreciones de chert, en estratos delgados a medianos. La parte superior está dominada por calizas micríticas gris claro en bancos delgados a muy gruesos con dolomitas interestratificadas. La edad del Grupo Pucará, estimada por fósiles guía como gasterópodos y lamelibranquios al suroeste de Oxapampa, se considera del Hetangiano-Sinemuriano.

4.1.1.4. Depósitos cuaternarios

De acuerdo con De la Cruz et al. (1996), los depósitos morrénicos, se encuentran rellenando algunos valles glaciares y están compuestos por gravas con clastos angulosos polimícticos en una matriz arenosa. Los depósitos glaciofluviales están formados por gravas con clastos de diversos tamaños, que van desde subredondeados a redondeados, con matriz arenosa o areno-limosa. Los depósitos aluviales consisten en gravas con clastos subredondeados polimícticos, de tamaño heterogéneo en una matriz limo-arcillosa. Finalmente, los depósitos fluviales corresponden a gravas con clastos redondeados en una matriz limo arenosa.

4.1.2. Rocas intrusivas

4.1.2.1. Granito Paucartambo

De acuerdo con De la Cruz et al. (1996), litológicamente, las rocas son de grano medio a fino, holocristalinas, de color blanco, y contienen feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, con menor cantidad de biotita y hornblenda. En el sector del río Santa Cruz hacia Chaglla, se observa una variación de granito a granodiorita o diorita, con una disminución de ortoclasa y un aumento de minerales máficos. Realizaron dataciones radiométricas en dos muestras de este cuerpo; una



en granito, que arrojó una edad de 224 millones de años, y otra en diorita, con una edad de 282 millones de años, lo que sitúa a estas rocas entre el Pérmico inferior y el Triásico inferior

4.1.2.2. Diorita

De acuerdo con De la Cruz et al. (1996), estos cuerpos se encuentran formando stocks y afloran al noreste de la localidad de Chaglla (ver anexo 2). Son rocas de grano fino, holocristalinas, que contienen principalmente plagioclasa y hornblenda, con menor cantidad de biotita, cuarzo y feldespato potásico. Además, presentan algunos xenolitos de rocas ultrabásicas y hornblendita. Estos cuerpos cortan a los esquistos del Complejo Basal del Marañón, a las rocas sedimentarias del Grupo Pucará y al Granito Paucartambo. Mediante estudios radiométricos por el método K-Ar, realizados por la Misión Japonesa en 1979, se ha obtenido una edad de 170 millones de años, lo cual indicaría que el emplazamiento se produjo durante el Jurásico medio.

4.1.3. Geología estructural

De acuerdo con De la Cruz et al. (1996), el Complejo Metamórfico del Marañón constituye el núcleo de la Cordillera Oriental en el área de estudio, con una dirección principal NO-SE. El límite oriental está definido por el contacto entre las molasas del Grupo Mitu y las calizas del Grupo Pucará. Las estructuras predominantes son la esquistosidad, la gneisificación y la migmatización, lo que sugiere la actuación de diferentes fases de plegamiento y metamorfismo que originaron un zócalo rígido.

Las rocas plutónicas, también descritas por De la Cruz et al. (1996), están constituidas por rocas graníticas y granodioríticas del Permo-Triásico, en las cuales es posible observar fallas longitudinales y mencionan que esta zona es la de menor deformación en toda el área, y en este se han identificado dos sistemas de fallas de corta extensión: uno con rumbo NO-SE y otro NE-SO.



4.2. Geología local

Los trabajos de campo que se realizaron en el área de trabajo; han permitido establecer una adecuada secuencia estratigráfica y el mapa geológico local (ver anexo 3) representativo del área, a través de la revisión de las litologías de cada unidad.

4.2.1. Estratigrafía local

La estratigrafía en el área de estudio comprende unidades del Ordovícico inferior como el Complejo Metamórfico del Marañón datado por Cardona (2006) y Permotriásicas como el Grupo Mitu (Figura 12), según la información y comprobación en campo se hará la siguiente descripción de las unidades aflorantes de las diferentes unidades litoestratigráficas. Los afloramientos estudiados se encuentran entre los poblados de San Pablo de Pillao - Huanacaure y Panao-Chaglla.

Figura 12. Columna estratigráfica general del área de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA	ESPESOR Mts	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Fluviales			Grava gruesa a fina. Arenas y limoarcillitas.
			Depósitos Coluvial			Grava arenosa limosa de clastos subredondeados.
			Depósitos Glaciofluvial			Clastos heterogéneos en matriz de arena, limos y arcillas.
MESOZOICO	PERMICO TRIÁSICO	Inferior	Gpo. Mitu		+2000	Discordancia
PERMICO TRIÁSICO	Superior	Conglomerados polimícticos con areniscas marrón rojizas con intercalaciones de lutitas. Al techo, lavas andesíticas y tobas marrón rojizas				
PALEOZOICO	ORDOVÍCICO	Inferior	Complejo basal del Marañón			Discordancia
						Esquistos de biotita, esquistos de tremolita y esquistos de biotita y rutilo.
						Anfibolitas de Hornblenda, tremolita y actinolita.
						Ortogneis de biotita
						Milonitas de esquistos de granate y rutilo.
						Milonitas de paragneis de granate, biotita y rutilo.



4.2.1.1. Complejo Metamórfico del Marañón (Ordovícico inferior / Oi-Cm)

Cardona (2006), dató un ortogneis del Complejo Metamórfico del Marañón en Huánuco con una edad de protolito del Neoproterozoico Superior de alrededor de 613 Ma mediante U/Pb en circones, mientras que su metamorfismo tuvo lugar durante el Ordovícico Inferior, hace aproximadamente 484 ± 12 Ma. Además, en la región al sur del área de estudio, en la hoja de Pozuzo 211, se ha registrado un evento metamórfico datado en aproximadamente 463.38 ± 0.91 Ma atrás según Soberón (2024).

Las rocas metamórficas se disponen en el dominio de la Cordillera Oriental, abarca una secuencia de rocas metamórficas que correspondería al zócalo cristalino correspondiente al Complejo Metamórfico del Marañón que consiste esencialmente de esquistos, anfibolitas, ortogneis, milonitas de esquistos y milonitas de paragneis, cada una muestra un paso progresivo que va desde un grado metamórfico bajo a alto.

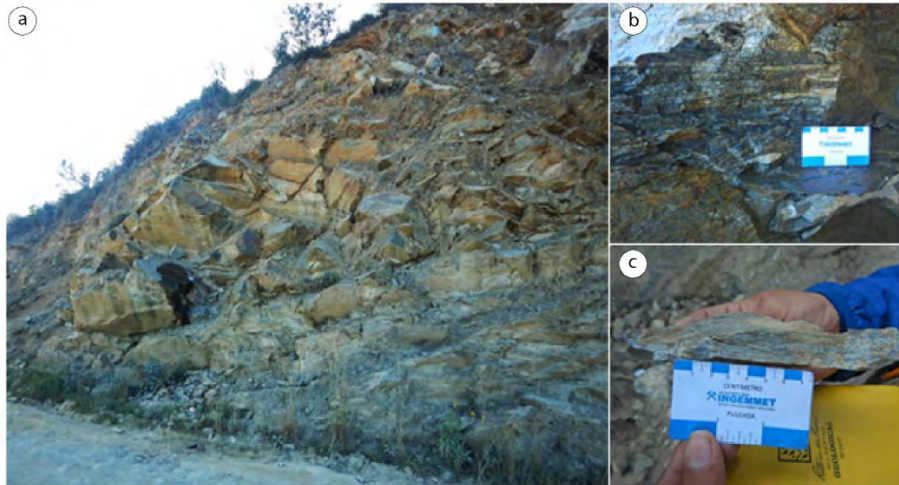
4.2.1.1.1. Esquistos (Oi - cm - esq).

En la zona de estudio estos esquistos corresponden a esquistos de biotita , biotita, granate y rutilo, y biotita y rutilo. Estos esquistos abarcan la zona oeste del área de estudio como se muestra en el mapa geológico local (ver anexo 3).

Los esquistos de biotita y rutilo se evidencian en las localidades de San Pablo de Pillao, y el centro poblado de Wichillway (Sur de Panao). Son esquistos de grano fino a medio, de color gris verdoso, están compuestas principalmente de cuarzo, moscovita, biotita, rutilo y cloritas pertenecen a las facies de anfibolita por la presencia de rutilo, la foliación principal de estas rocas está representada por la esquistosidad con un azimut representativo de $N345^\circ$. Se recolectaron dos muestras para estudio petrográfico al sur de las localidades de San Pablo de Pillao (Figura 13) y Sur de Panao, Centro poblado Wichillway (Figura 14).

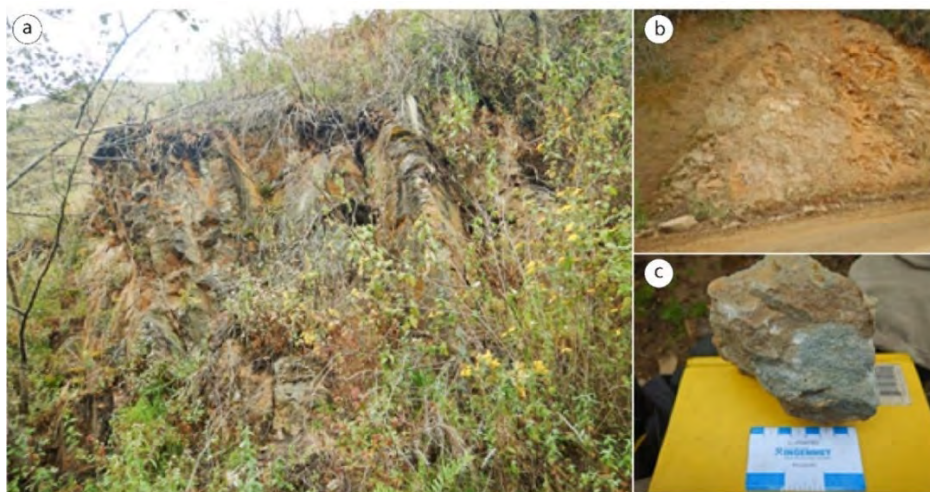
En el poblado de Panao se observaron esquistos de biotita y moscovita de grano fino (Figura 15) pertenecen a las facies de esquistos verdes donde se recolectó una muestra de para su estudio petrográfico.

Figura 13. Afloramiento de esquistos del Complejo Metamórfico Marañón.



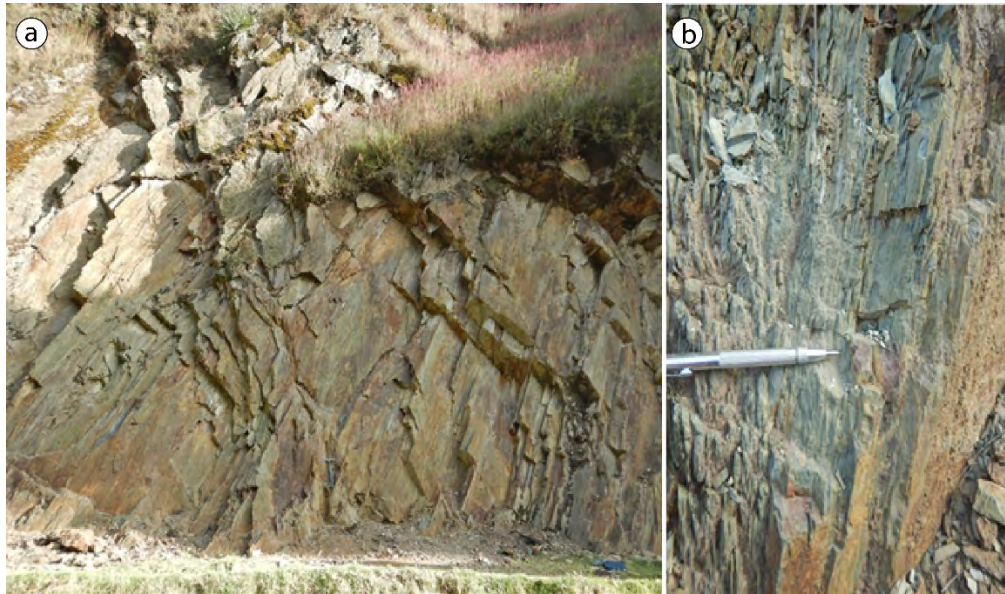
Nota. a) Afloramiento de esquistos grises de grano medio fracturados, b) esquistos grises de biotita, rutilo y moscovita con segregación de cuarzo, c) Muestra 20I-C50-6-024 de esquistos grises de biotita y rutilo al sur de San Pablo de Pillao, UTM (391861E, 8917085N).

Figura 14. Afloramiento de esquistos de rutilo y biotita del Complejo Metamórfico Marañón



Nota. a) Afloramiento de esquistos de biotita y rutilo, b) Afloramientos alterados alrededor del afloramiento principal de esquistos de biotita y rutilo, c) esquistos grises de grano medio con textura granolepidoblástica. Ubicado en el centro poblado Wichillway (al Sur de Panao), UTM (393091E, 8902282N).

Figura 15. Esquistos de biotita del Complejo Metamórfico Marañón en la localidad de Panao.

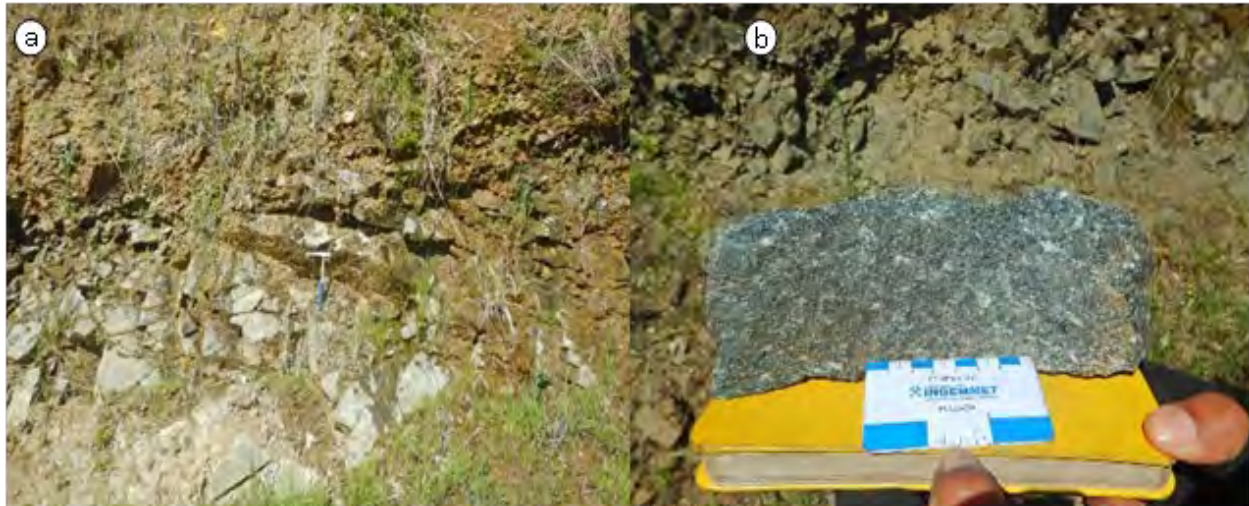


Nota. a) Afloramiento de esquistos con foliación en planos de diaclasa, b) esquistos grises de grano fino foliado. Ubicado en Panao, UTM (391174E, 8905167N).

4.2.1.1.2. Anfibolitas (*Oi - cm – anf*)

Se evidencia en dos zonas puntuales en el tramo Huachag Grande – Chaglla y al Sureste del centro poblado Quinqui pertenecientes a facies de transición esquistos verdes a anfibolita. Las anfibolitas del sector Huanchag Grande-Chaglla son de textura nematoblástica, color gris blanquecina, grano medio a grueso, consta de plagioclasas tabulares y hornblendas orientadas, también se observa en menor cantidad epidota, clorita y minerales opacos (Figura 16). Al sureste del centro poblado Quinqui se evidencia anfibolitas de grano fino a medio, de color gris a gris blanquecino, compuesta de anfíboles, plagioclasas tabulares y clorita con biotita en menor cantidad, se encuentra pirita diseminada, su dirección de foliación principal es N-S (Figura 17), este último se encuentra en contacto con sienogranitos del Plutón Queroc (Ver anexo 3).

Figura 16. *Anfibolitas del Complejo Metamórfico Marañón en la localidad de Chaglla.*



Nota. a) afloramiento fracturado de anfibolitas, b) anfibolita de grano grueso gris blanquecina de textura nematoblástica, conformada principalmente de hornblenda, plagioclasas alteradas y clorita. Ubicado al noroeste de Chaglla UTM (399712E, 8912091N).

Figura 17. *Anfibolitas de grano fino Complejo Metamórfico Marañón de Quinqui.*



Nota. a) afloramiento fracturado de anfibolita de grano medio, gris blanquecina de textura nematoblástica con hornblenda, plagioclasa y biotita. b) anfibolita de grano fino, gris verdosa de textura nematoblástica de hornblenda, plagioclasa, epidota, hematita y opacos diseminados. Ubicados al sureste del centro poblado Quinqui, UTM (393476E, 8898664N) y UTM (392518E, 8898761N) respectivamente.

4.2.1.1.3. *Ortogneis (Oi - cm – gn)*

Es la unidad metamórfica de medio grado metamórfico, perteneciente a facies de anfibolita. Consiste en gneis de protolito ígneo, se encuentra foliado de granulometría media de cuarzo, biotita y plagioclasa. Al norte de Huascapampa, se reconocieron gneis gris oscuro de grano medio con presencia de porfiroblastos de plagioclasas grandes envueltas en intercalaciones de feldespatos y biotita (Figura 18b).

Figura 18. *Ortogneis del Complejo Metamórfico Marañón*



Nota. a) afloramiento de gneis cortado por cuerpos intrusivos monzograníticos, b) gneis con detalle de porfidoblastos rotados, c) detalle de bandas gnéisicas. Ubicados al norte de Huascapampa. UTM (395124E, 8898751N).

4.2.1.4. *Milonitas de esquisto (Oi - cm – mlt, esq)*

Esta unidad metamórfica se extiende desde San Pedro de Pillao hasta el centro poblado Huanchac donde fueron reconocidos sus afloramientos. Estas milonitas presentan una deformación dúctil de alta temperatura de acuerdo con las microestructuras estudiadas en el análisis petrográfico descrito en el capítulo V. Son rocas de grano medio con una foliación



milonítica generalmente subvertical de dirección N-S. La característica fundamental de estas rocas, y por la cual reciben esta denominación, de acuerdo con Passchier y Trouw (2005), es la presencia de abundantes cintas de cuarzo y de porfiroclastos de turmalina y granate. El protolito de estas rocas son esquistos de turmalina y de granate -biotita, siendo estas asociaciones el clímax metamórfico del metamorfismo regional, son de grado metamórfico alto en facies de anfibolita.

Figura 19. *Complejo Metamórfico Marañón, milonita de esquistos de turmalina.*



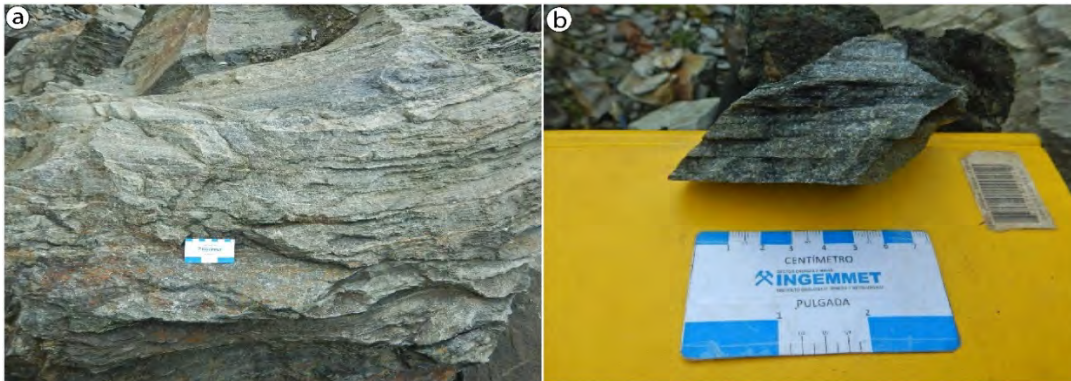
Nota. Ubicado al sur de San Pedro de Pillao, UTM (393546E, 8917329N).

4.2.1.5. Milonitas de paragneis (Oi - cm – mlt, pgn)

Esta unidad metamórfica fue reconocida en el centro poblado de San José de Miraflores, San Pablo de Pillao y Ticapampa (norte y este de Panao respectivamente). Estas milonitas presentan una deformación dúctil de alta temperatura de acuerdo con las microestructuras estudiadas en el análisis petrográfico. Son rocas de grano medio con una foliación milonítica generalmente subvertical de dirección N-S y algunos micro plegamientos. La característica fundamental de estas rocas, y por la cual reciben esta denominación, de acuerdo con Passchier y Trouw (2005), es la presencia de abundantes cintas de cuarzo y feldespatos (Figura 22), y de porfiroclastos de granate y rutilo. El protolito de estas rocas son paragneis de biotita, granate y rutilo

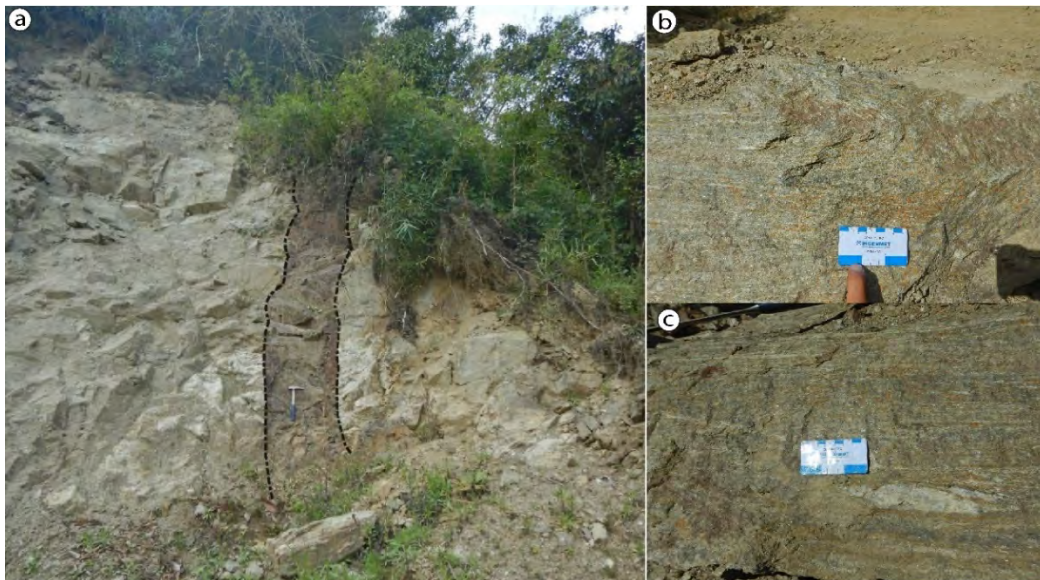
principalmente, siendo estas asociaciones el clímax metamórfico del metamorfismo regional en esta área, son de grado metamórfico alto en facies de anfibolita. Los afloramientos presentes al norte del área de estudio presentan algunos diques andesíticos que cortan esta unidad (Figura 21).

Figura 20. *Milonita de paragneis del Complejo Metamórfico Marañón en Ticapampa*



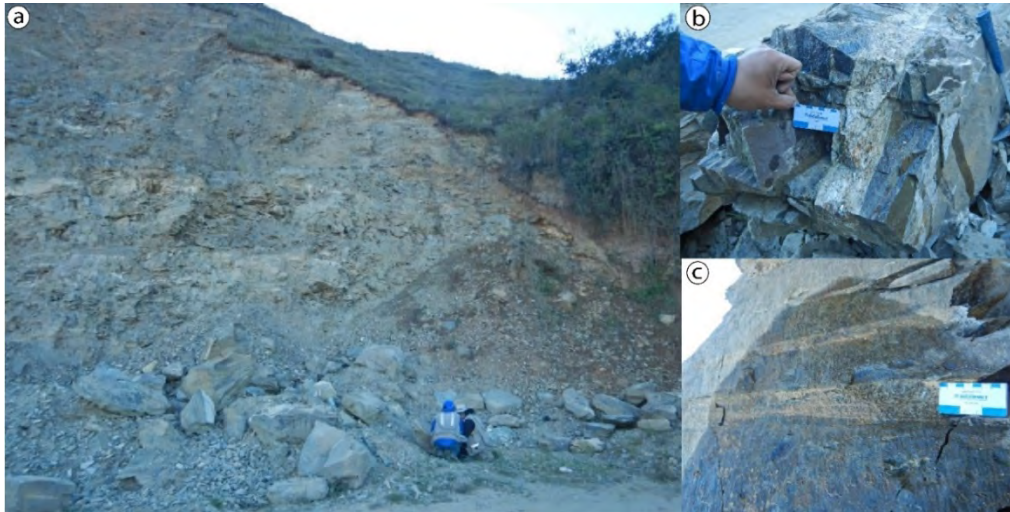
Nota. a) milonita de paragneis con foliación milonítica gris blanquecina con segregación de cuarzo, b) muestra de mano de milonita de paragneis con bandas de cuarzo y feldespato y porfiroclastos de granate. UTM (394678E, 8907375N).

Figura 21. *Gneis milonítico del Complejo Metamórfico Marañón de San José de Miraflores*



Nota. a) dique andesítico que corta a las milonitas de paragneis, b) paragneis milonítica plegado, c) detalle de paragneis milonítico. Ubicado al noroeste de San José de Miraflores, UTM (396678E, 8920388N).

Figura 22. *Milonitas de paragneis del Complejo Metamórfico Marañón de San Pablo de Pillao*



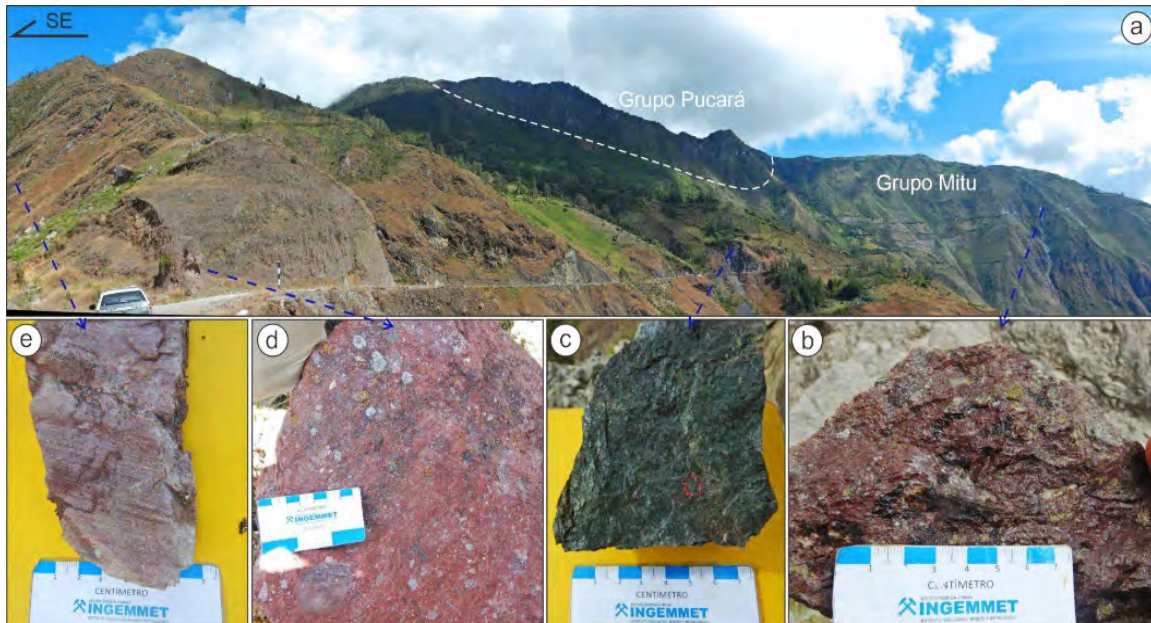
Nota. a) Afloramiento moderadamente alterado de milonita de paragneis. b) bandas de composición cuarzo-feldespato-moscovita, c) detalle de estructura milonítica. Ubicado al SE de San Pablo de Pillao, UTM (392067E, 8917213N).

4.2.1.2. Grupo Mitú (Pérmico superior – Triásico inferior/PET-mi).

La distribución del Grupo Mitu se observan en área de estudio, su extensión es de forma alargada en dirección NO-SE, se alinea en contacto fallado con el Complejo Metamórfico Marañón y por el este sobreyace en discordancia fallada al Complejo Metamórfico del Marañón. Los afloramientos se observaron en la vía carrozable de Chaglla hacia Santa Rosa de Toma.

Al este de Chaglla se evidencia al Grupo Mitu, en contacto fallado con el Complejo Metamórfico Marañón. Consiste en una variación de rocas volcánicas, que infrayace en discordancia al Grupo Pucará al este de Chaglla (Figura 23), en la posición más basal consiste en riocitas y flujos lávicos riolíticos rojizos (Figura 23b) con minerales de plagioclasas alineadas y cuarzo y minerales de textura vacuolar relleno por epidotas y algunos clastos líticos , luego flujos andesíticos verdosos (Figura 23c) con plagioclasa anhedral en matriz fina, luego brecha volcánica (Figura 23d) con líticos de composición volcánica y arcosas, con sílice relleno de fracturas, y hacia el tope flujos lávicos riolíticos laminados (Figura 23e).

Figura 23. Afloramiento del Grupo Mitu al este de la zona de estudio



Nota. a) Sección del Grupo Mitu entre Maragniyoj y Santa Rosa de Toma infrayace al Grupo Pucará, b) flujo riolítico rojizo, c) roca de composición andesítica verde con plagioclasas pequeñas, d) brecha volcánica con líticos rojizos, e) flujo riolítico laminado. Ubicado entre Maragniyoj y Santa Rosa de Toma, UTM (405610E, 8913946N).

En el área de estudio no se han reportado fósiles ni dataciones que permitan determinar su edad, sin embargo, De la cruz et al. (1996) le asignan una edad que comprende el intervalo Pérmico superior al Triásico inferior.

4.2.1.3. Depósitos Cuaternarios

Conforme a la variación topografía se reconocieron diversos depósitos cuaternarios que se disponen rellenando valles, depresiones y planicies.

4.2.1.3.1. Depósito glaciofluvial (Q-gfl).

Estos depósitos se encuentran en pie de talud en valles glaciares ubicados por encima de los 3,500 msnm, entre las localidades de Sillapunta. Estos están constituidos por bloques subangulosos heterométricos de composición de rocas intrusivas en matriz de arenas, en general se compone de un material inconsolidado.

4.2.1.3.2. *Depósito coluvial (Qh-cl).*

Estos depósitos están conformados por bloques de ortogneis, y monzonitas de diferentes tamaños que se formaron por de la desintegración de rocas ígneas y metamórficas en el área de estudio que fueron transportadas por gravedad (Figura 24).

Figura 24. *Depósito coluvial con clastos subredondeado heterométrico de intrusivos graníticos alineándose al pie de talud.*



Nota. Ubicado al SE de Huascapampa, UTM (397026E, 8898040N).

4.2.1.3.3. *Depósito fluvial (Qh-fl).*

Estos depósitos se originan por la erosión y removilización de ríos, se evidencia en mayor extensión en el río Huallaga. Consiste en material inconsolidado, compuestos por bloques y cantos heterolíticos, redondeados a subredondeados de diferentes tamaños en una matriz de arenas y arcillas.

4.2.2. *Rocas intrusivas*

Los afloramientos de cuerpos intrusivos se evidencian en poca extensión, se desarrolla en la parte sur del área de estudio. En comparación con la base geológica realizada por De La Cruz et al. (1996), donde se diferenciaron dos unidades, al Granito Paucartambo y cuerpos de Diorita. En el presente estudio se ha diferenciado en; Plutón San Juan, Plutón Queroc y cuerpos de diorita.

4.2.2.1. Plutón Queroc

El cuerpo intrusivo se evidencia en el extremo suroeste de la zona de estudio, se limita en contacto con esquistos y anfibolitas del Complejo Metamórfico del Marañón. En su composición se ha diferenciado dos cuerpos, de sienogranito y monzogranito.

4.2.2.1.1. Sienogranito (C-qe1-sgr).

Esta litología es de menor extensión, se evidencia en el extremo suroeste de la zona de estudio, entre los centros poblados de Silla Punta y Puliaj, al sur de la localidad de Panao. Alrededor de Silla Punta, se identificó que intruye en contacto neto hacia el ortogneis y anfibolitas del Complejo Metamórfico del Marañón, y hacia el este presenta contacto gradacional con la variedad de monzogranito. Litológicamente consiste en una roca intrusiva, leucócrata textura inequegranular de grano grueso, se reconocen cristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas, y en menor proporción biotita y anfíboles (Figura 25).

Figura 25. Contacto de sienogranito con el Complejo Metamórfico del Marañón.



Nota. Ubicado al sur de Pogocha, UTM (390655E, 8895114N).

Este cuerpo intrusivo se proyecta hacia el cuadrángulo de Pozuzo, donde (Soberón, 2024), realizó una datación radiométrica, la cual resulta de 322.94 ± 0.6 Ma en el método U-Pb, por lo que se considera del Pensilvaniano.

4.2.2.1.2. *Monzogranito (C-qe1-mgr).*

Esta unidad se evidencia entre los centros poblados de Quiswar y San Antonio de Warpoj. Se presenta intruyendo a los esquistos y milonitas del Complejo Metamórfico del Marañón (Figura 26). Litológicamente consiste en una roca intrusiva, meteorizada, deleznable en varios sectores, consiste en una roca tonalidad leucocrata, de grano grueso con minerales de feldespato, plagioclasa, cuarzo y biotita, además de pirita diseminada, presente diaclasas principales de N90°.

Figura 26. *Monzogranito de grano medio a grueso cortando secuencias de esquistos del Complejo Metamórfico del Marañón.*



Nota. Ubicado al sureste de Panao. UTM (394514E, 8899592N).

Estos cuerpos intrusivos se proyectan hacia el cuadrángulo de Pozuzo (2114), donde Soberón (2024), realizó una datación radiométrica, la cual resulta de 320.69 ± 0.64 Ma en el método U-Pb, por lo que se considera del Pensilvaniano inferior.



4.2.2.2. Plutón San Juan (Cp-sj3-gr)

Es cuerpo intrusivo de menor extensión y abarca el sector sureste del área de estudio, litológicamente su composición se ha diferenciado como un cuerpo de granito. Se presenta intruyendo a las anfibolitas del Complejo Metamórfico del Marañón. Consiste en roca de composición granito de grano grueso, inequigranular con cristales de cuarzo, feldespato y plagioclasa en menor proporción, y biotita, presentan fenocristales de feldespatos (Figura 27).

Figura 27. Granito, diaclasas en disposición horizontal en detalle granito de grano medio.



En el cuadrángulo de Pozuzo Soberón (2024), realizó una datación radiométrica, la cual resulta de 314.76 ± 0.77 Ma en el método U-Pb, por lo que se considera del Pensilvaniano medio.

4.2.2.3. Diorita (PET-3-di)

Se registró un cuerpo de diorita de corta extensión, se ubican al norte de los intrusivos de los plutones Queroc y San Juan, que están intruyendo a las anfibolitas del Complejo Metamórfico del Marañón. Este cuerpo de diorita aflora en Pochogoy, litológicamente consiste en roca intrusiva muy alterada beige con anfíboles y biotita, con cristales subhedrales de plagioclasa.

4.2.3. Geología estructural

. En este apartado se presenta la descripción de las estructuras geológicas presentes en el área y su relación con la evolución tectónica regional. La geología local está dominada por



rocas metamórficas, incluyendo esquistos, ortogneis, anfibolitas y milonitas, que han sido afectadas por intensos procesos tectónicos.

El estudio estructural se basó en la cartografía geológica detallada, el análisis de fallas y pliegues. Se utilizaron técnicas de análisis estructural clásicas, como la medición de la orientación de rumbo y buzamiento de los planos, las líneas y esquistosidad. También se realizó la interpretación de las imágenes satelitales que permitió jerarquizar las estructuras (principalmente fallas). Estas características sumadas a las otras mencionadas anteriormente aportaron a la elaboración del mapa estructural (ver anexo 4).

El análisis estructural permitió identificar hasta 2 sistemas de fallas principales, un sistema de fallas cuya orientación es NOO-SEE que se ubican en el dominio de la Cordillera Oriental, donde se encuentran fallas antiguas que produjeron la milonitización de esquistos y gneis del Complejo Metamórfico del Marañón y algunos lineamientos. También se identifica un segundo sistema de fallas, aparentemente de reactivación moderna, y de dirección SO-NE donde se identificaron fallas que presentan una cinemática de transurrencia dextral y sinistral (para más detalle, ver anexo 4).

4.2.3.1. Lineamientos

Se registran lineamientos principales NOO-ESE, que afectan a los cuerpos intrusivos de monzonita de la unidad Queroc y se proyecta hacia los granitos del Plutón San Juan, ésta estructura tiene importancia económica de vetas mineralizadas hacia el sur de Huengomayo. En el complejo metamórfico también se observan lineamientos de fallas antiguas que produjeron milonitización en los esquistos y paragneis de esta unidad.



Figura 28. Vista panorámica del sistema de fallas NO-SE.



Nota. Ubicado al SO de Huengomayo, UTM (398650E, 8896604)

4.2.3.2. Fallas Transversales

Se tiene un sistema de fallas de rumbo de corto desplazamiento que se alinean a los ríos principales, en el río Panao de movimiento dextral, y en el río Huallaga al sur de San Pablo de pillao movimiento sinestral.

Figura 29. Vista panorámica de falla dextral SO-NE.



Nota. Ubicado al NE de San Pablo de Pillao, Río Huallaga.

Los episodios de deformaciones en la región de Huánuco podrían haber sido causados por cambios en las tasas de convergencia de placas, en el ángulo de subducción, o en los vectores de convergencia, así como por la subducción de una placa más antigua. En resumen, la evolución tectónica del Complejo Metamórfico del Marañón muestra una compleja historia de interacción entre procesos tectónicos, magmáticos y sedimentarios en un margen continental activo (Cardona, 2006).



4.2.3.3. Falla inversa

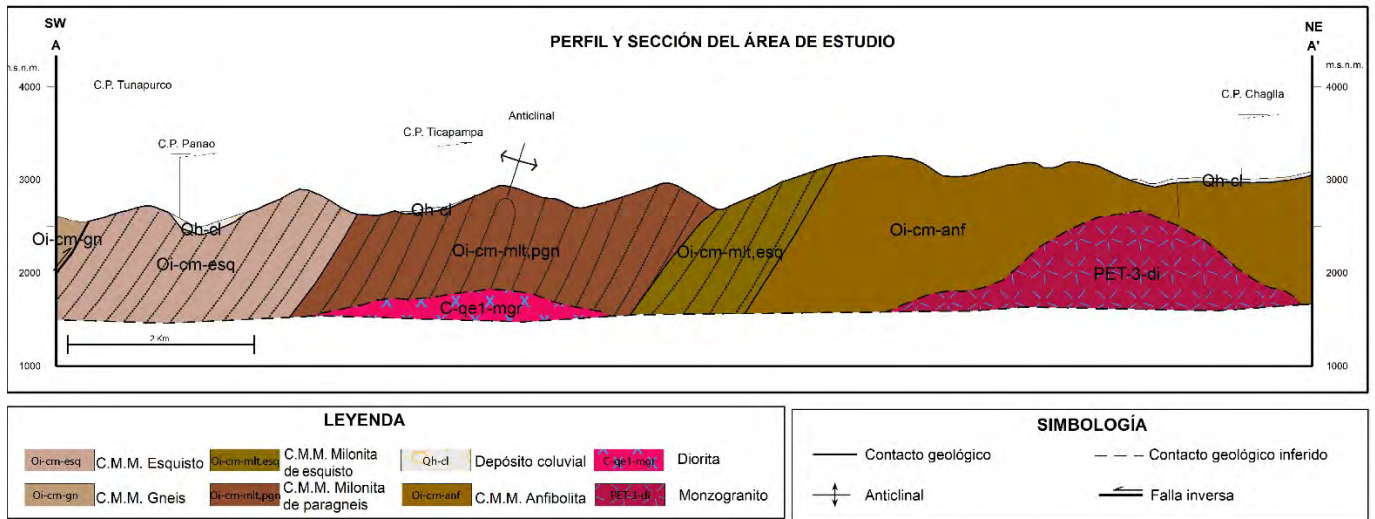
Se evidencia una falla inversa que pone en contacto los ortogneis con los esquistos de biotita y rutilo al sur de Panao.

4.2.3.4. Anticlinal

Las milonitas de paragneis en el área de estudio muestran evidencias de estructuras deformacionales complejas, entre las cuales se ha inferido la presencia de un anticlinal. Esta inferencia se basa en observaciones detalladas de la foliación y la orientación de los pliegues menores en afloramientos seleccionados entre las localidades de San Pablo de Pillao y Ticapampa.

Se ha realizado una sección geológica representativa del área de estudio recopilando las principales estructuras geológicas desde la localidad de Panao hasta la localidad de Chaglla (Figura 30).

Figura 30. Sección geológica representativa del área de estudio, transecto Panao-Chaglla.





CAPÍTULO V: METAMORFISMO

Para caracterizar el metamorfismo del Complejo Metamórfico del Marañón en el área de estudio, se realizaron dos cortes transversales de NE-SO, aprovechando las vías de acceso entre las localidades de San Pablo de Pillao - San José de Miraflores y Panao - Chaglla. El objetivo fue investigar la evolución de las condiciones de presión y temperatura, grado y facies metamórficas, mediante el reconocimiento litológico y petrográfico.

Se seleccionaron un total de 16 muestras para el área de estudio (ver anexo 5), y una muestra adicional (20L-C50-6-34) en el borde oeste de la localidad de San Pablo de Pillao para verificar la continuidad geológica, ya que en esa zona no había afloramientos de roca. Las muestras incluyen 01 de ortogneis, 05 de esquistos, 04 de anfibolitas, 02 de milonita de esquistos y finalmente 05 de milonitas de paragneis.

Las muestras fueron tomadas de acuerdo con la variación litológica y su ubicación en el terreno, luego fueron analizadas con microscopio petrográfico en las instalaciones de INGEMMET y la UNSAAC. Los estudios petrográficos permitieron identificar las asociaciones minerales en equilibrio que definen las condiciones metamórficas de presión y temperatura en las que cada roca se ha formado, así como el patrón textural que revela la historia de la roca antes y después de alcanzar el equilibrio.

Para mayor detalle, las descripciones petrográficas de cada muestra se encuentran en el anexo 1 y su mapa de ubicación en el anexo 5.

5.1 Análisis petrográfico

En el Anexo 1 se puede encontrar las descripciones completas para cada una de las 17 secciones delgadas estudiadas bajo microscopio polarizado y cuyas observaciones son integradas en este capítulo. La Tabla 8 presenta un listado de estas muestras, incluyendo sitio de extracción, litología y petrogénesis mineral del metamorfismo. Las rocas fueron agrupadas según el grado metamórfico al que pertenecen, bajo, medio, medio a alto y alto grado metamórfico.



Tabla 7. Ubicación, litología y asociaciones minerales de cada muestra recolectada

Muestra	Localidad	Clasificación de Roca	Asociaciones Minerales
20L-C50-6-037	Huascapampa	Anfibolita	Qtz-Bt-Ms-Pl-Hbl-Op-Ep-Ttn Ep-Chl-Pl-Qtz
20L-C50-6-038	Pochogoy	Anfibolita	Qtz-Pl-Ep-Hbl Tr-Chl-Act-Ep-Pl
20L-C50-6-044	Huascapampa	Anfibolita	Hbl-Pl-Ep
20L-C50-6-010	Panao	Esquisto de biotita	Bt-Ms-Qtz-Op-Kfs
20L-C50-6-024	Vista Alegre	Esquisto de biotita y rutilo	Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs-Op± Rt Op-Chl-Qtz-Ser
20L-C50-6-035	Coñaica	Esquisto de biotita y rutilo	Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs-Op± Rt Chl-Ser-Pl-Qtz
20L-C50-6-034	San Pablo de Pillao	Esquisto de tremolita y clorita	Pl-Chl-Ep-Tr-Act-Ms
20L-C50-6-045	Huascapampa	Gneis de biotita	Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs-Ep
20L-C50-6-047	Huacachi	Metavolcánico	Qtz-Ms-Pl-Cb-Pmp-Prh-Ep-Chl
20L-C50-6-031	Vista Alegre	Milonita de esquisto	Qtz-Kfs-Bt-Tur-Op-Ms Qtz-Kfs-Bt-Tur-Op-Ms
20L-C50-6-040	Ticapampa	Milonita de esquisto	Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms±Rt Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs
20L-C50-6-027	Llincay	Milonita de paragneis	Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op-Ms Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs-Pl-Sil
20L-C50-6-028	Chinchavito	Milonita de paragneis	Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op-Ms Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs-Pl
20L-C50-6-029	San Pablo de Pillao	Milonita de paragneis	Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs
20L-C50-6-030	Vista Alegre	Esquisto de biotita, granate y rutilo	Bt-Grt-Qtz-Ms-Op-Zo-Ttn- Kfs±Rt Chl-Zo-Kfs-Qtz-Ms
20L-C50-6-033	Cushipampa	Milonita de paragneis	Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms ±Rt Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs
20L-C50-6-041	Ticapampa	Milonita de paragneis	Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs

5.1.1. Bajo grado metamórfico

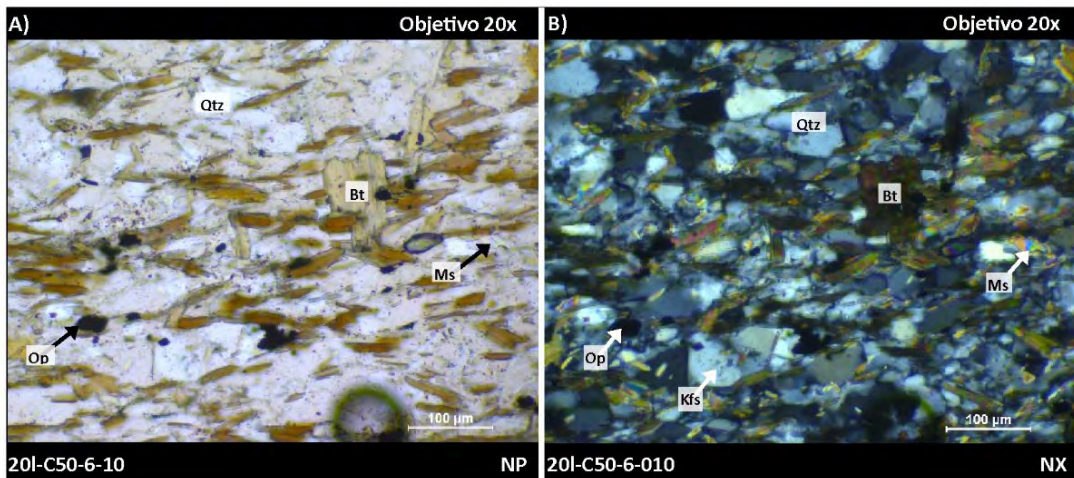
5.1.1.1. Esquistos de biotita

Estos esquistos fueron descritos en la localidad de Panao, pertenece a facies de esquistos verdes, son de grano fino y textura granolepidoblástica (Figura 31). Su esquistosidad está marcada por el alineamiento sub-paralelo de biotita y moscovita. En el estudio petrográfico se pudo identificar solo asociación mineral del pico metamórfico M1, que indicarían las condiciones de P-T máximas alcanzadas en estas rocas.

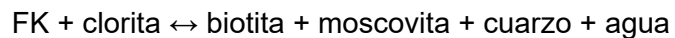
El metamorfismo M1 corresponde al pico del metamorfismo en facies de esquistos verdes y se caracteriza por la asociación mineral Bt-Ms-Qtz- Kfs-Op. En la muestra se encuentran biotita

(Bt) y moscovita (Ms) de forma euhedral, siendo estos minerales predominantes en estos esquistos. En la figura 31-A se aprecia la textura granolepidoblástica conformado por blastos de cuarzo (Qtz), con micas de biotita (Bt) y moscovita (Ms) ocupando intersticios. La figura 31-B es la vista en nicoles cruzados de la microfotografía 31-A y se logra diferenciar cristales de feldespato potásico (Kfs) alterados moderadamente a arcillas.

Figura 31. Muestra 20I-C50-6-10. Nicoles Paralelos (NP), Nicoles Cruzados (NX)

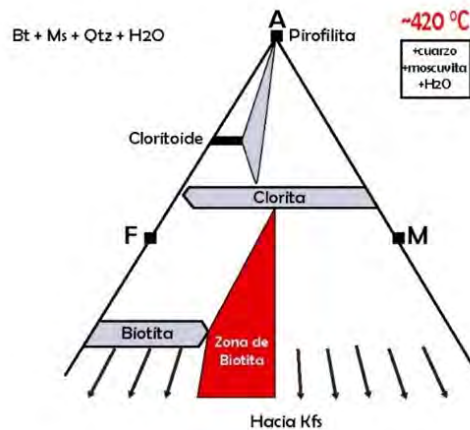


Según Bucher & Frey (1994), la isograda de reacción presente en esta asociación sería la siguiente:



Y su asociación está representada en la figura 32 en el diagrama AFM para zona de biotita.

Figura 32. Diagrama AFM Para la asociación mineralógica Kfs-Ms-Bt-Chl en zona de biotita para la muestra 20I-C50-6-10.



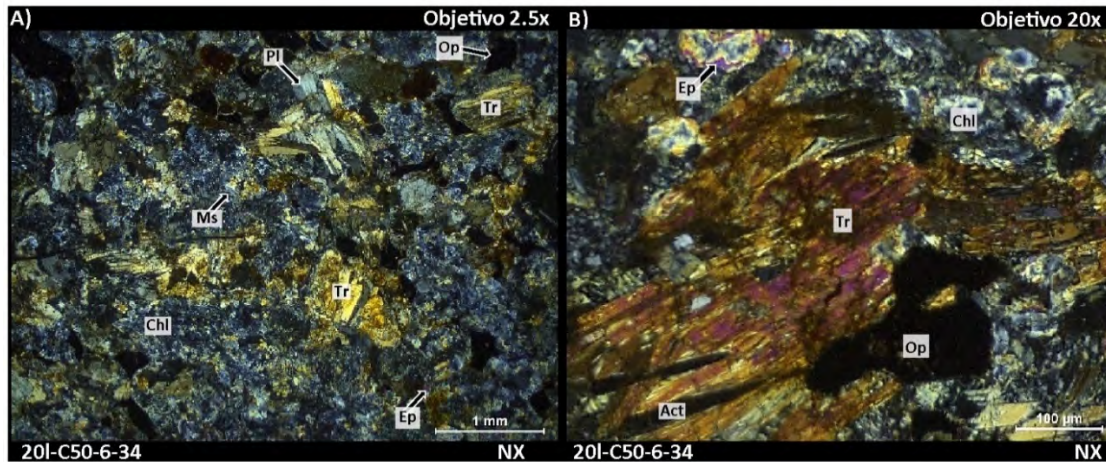
Fuente: Bucher & Frey (1994).

5.1.1.2. Esquistos de tremolita y clorita

Estos esquistos fueron descritos en el borde oeste fuera del área de estudio, para verificar la continuidad de los esquistos encontrados en San Pablo de Pillao; pertenecen a facies de esquistos verdes de grado metamórfico bajo. Estos esquistos son de grano medio y textura granoblástica (Figura 33-A). Su foliación está marcada por el alineamiento sub-paralelo de tremolita, moscovita y plagioclasa. En el estudio petrográfico se pudo identificar solo asociación mineral del clímax metamórfico M1.

El metamorfismo M1 corresponde al pico del metamorfismo en facies de esquistos verdes y se caracteriza por la asociación mineral PI-Chl-Ep-Tr-Act-Ms. La tremolita (Tr) y actinolita (Act) se encuentran como agregados fibrosos euhedrales y subhedrales de hábito prismático alargados de color amarillo pálido y verde oscuro correspondientemente, juntamente con plagioclasas (PI), clorita (Chl) y moscovita (Ms), además ocurren diseminaciones de minerales opacos alterados (Op) (Figura 33-A). En la figura 33-B se observa los blastos de plagioclasa (PI) se presenta en formas anhedrales, se encuentran fuertemente remplazados por sericita (Ser) y epidota (Ep), generalmente el remplazamiento es casi total quedando únicamente moldes irregulares con relictos de plagioclasas.

Figura 33. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-34

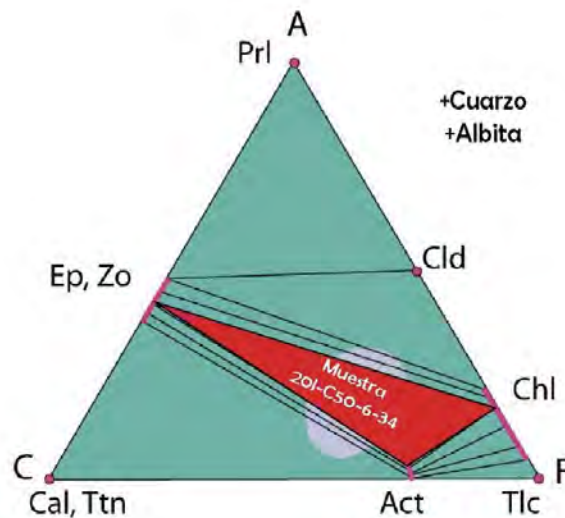


La reacción encontrada para esta asociación según Bucher & Frey (1994) es la siguiente.



La asociación representada para esta muestra se refleja en la figura 34 en el diagrama ACF para zona de biotita según Winter (2010).

Figura 34. Diagrama de compatibilidad ACF que exhibe la asociación mineral de la muestra 20I-C50-6-34 en facies esquistos verdes.



Fuente: Winter (2010).



5.1.2. Bajo a medio grado metamórfico

5.1.2.1. Anfibolitas de hornblenda y biotita

Estas anfibolitas se encuentran en la localidad de Silla Punta al Sur de Panao, son gris verdoso, grano fino y textura nematoblástica (Figura 35-A), de protolito ígneo, pertenecen a facies de transición esquistos verdes a anfibolita, de grado metamórfico medio. Su foliación está marcada por el alineamiento sub-paralelo de las hornblendas, plagioclasa y biotita. En la figura 35-A se observan blastos de cuarzo (Qtz), plagioclasas (Pl) alteradas a sericita (Ser) y epidota (Ep); también se observa biotita (Bt) marcando una orientación preferente de minerales y hornblenda (Hbl). La figura 35-B muestra blastos de cuarzo (Qtz), biotita (Bt) de color marrón oscuro marcando una orientación preferente y hornblenda (Hbl) con inclusiones de cuarzo, que indica que se formó a expensas de esta. En las figuras 35-C y 35-D se observan blastos de cuarzo (Qtz), epidota (Ep) y biotita reemplazada parcialmente por clorita (Bt-Chl), la moscovita (Ms) se observa en menor proporción. La muestra tiene asociaciones de minerales en desequilibrio textural que permite caracterizar dos episodios de metamorfismo regional, identificados como M1 y M2, en orden decreciente de edad.

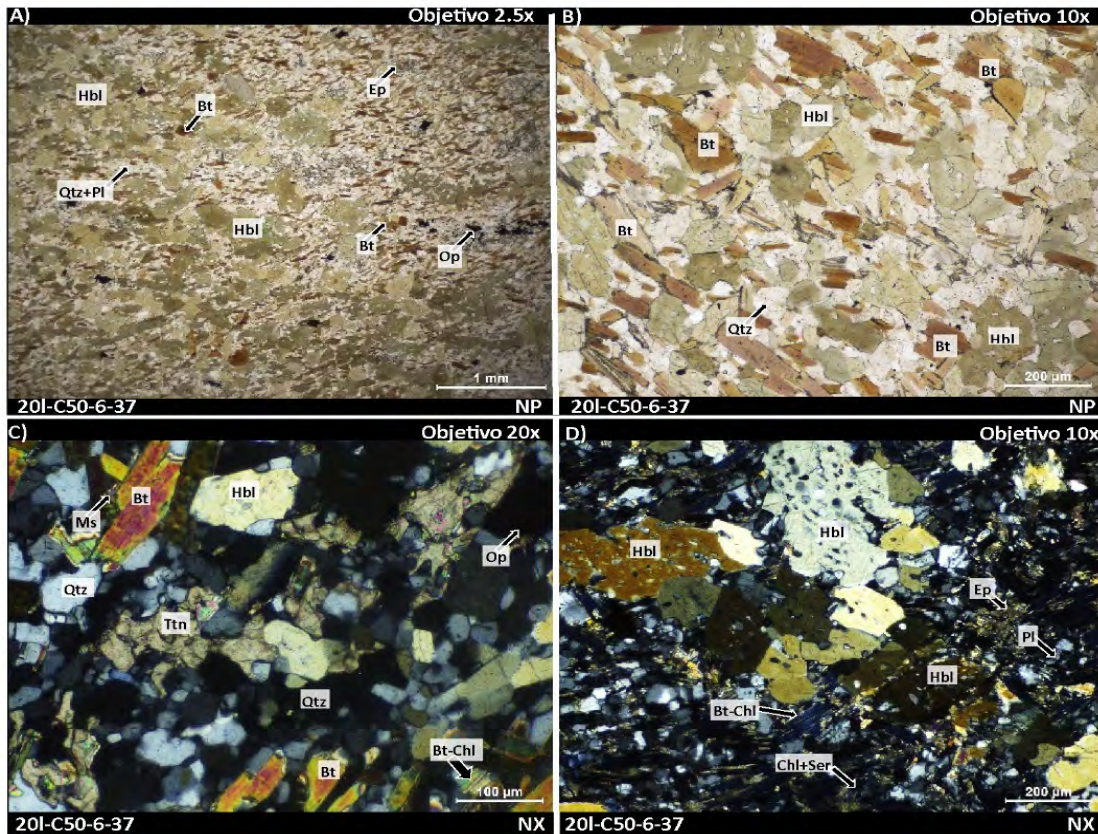
El metamorfismo M1 corresponde al pico del metamorfismo en facies anfibolita en transición de esquistos verdes a anfibolita y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Bt-Ms-Pl-Hbl-Op-Ep-Ttn. La hornblenda (Hbl) verde de las anfibolitas son euhedrales, nematoblásticos y presenta textura poiquiloblastica con inclusiones de cuarzo (Qtz) (Figura 35-D). La plagioclasa (Pl) tiene composición An14-16 (determinación óptica), subhedral, con alteración parcial a total a sericítica, con maclas polisintéticas. Los blastos de Qtz se encuentran de formas anhedrales, presentan extinción ondulante (Figura 35-C).

El metamorfismo M2, retrógrado post-pico, se caracteriza por presentar texturas de desequilibrio mineral donde la Chl se encuentran en pseudomorfismo parcial y total de la Bt del M1 (Figura 35-D) con la asociación mineral Ep-Chl-Pl-Qtz, lo cual sugiere para su formación la siguiente reacción retrógrada:

Biotita+Agua→Clorita+Silicato de Alúmina+Potasio+Hidrógeno

Cabe mencionar que la asociación del M2 no es representativa para estimar las condiciones de P-T del metamorfismo retrógrado en esta muestra.

Figura 35. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-37.

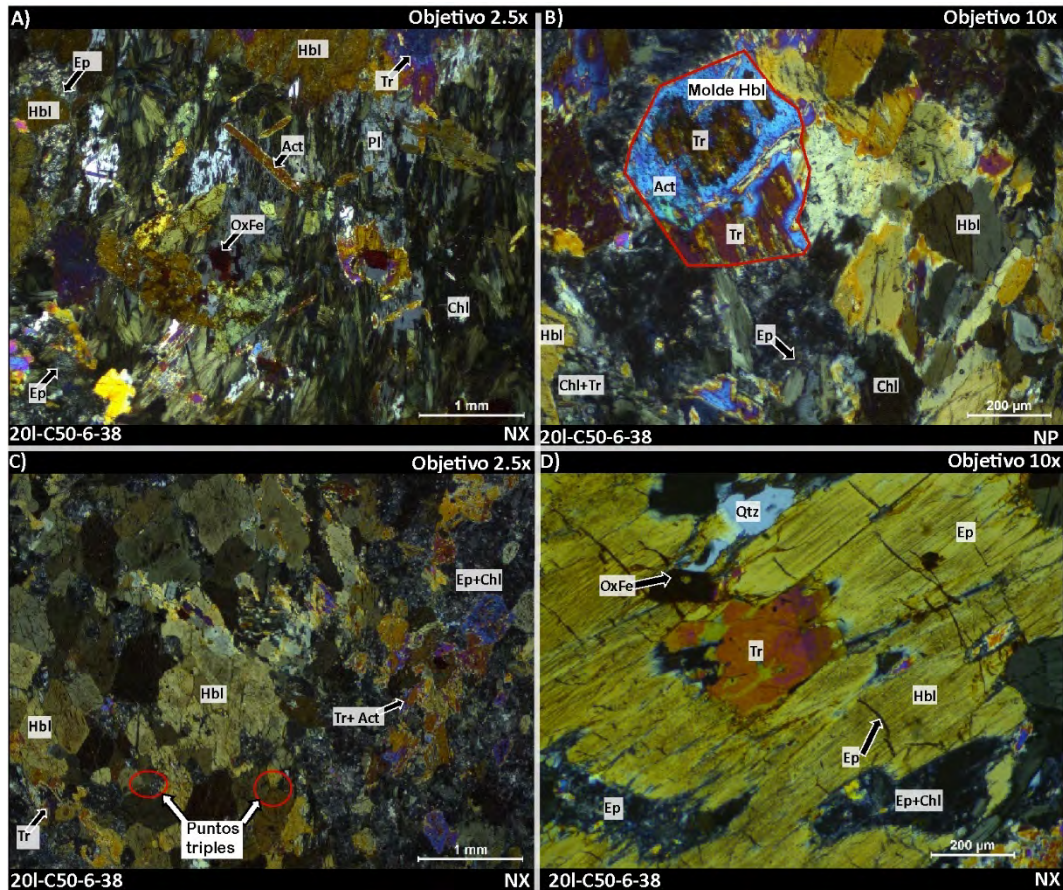


5.1.2.2. Anfibolitas hornblenda y tremolita

Estas anfibolitas se encuentran en la localidad de Chaglla, son gris verdosos, de grano medio a grueso y textura nematoblástica (Figura 36). Su foliación está marcada por el alineamiento subparalelo de los anfíboles y plagioclasa. En la figura 36-A se observa blastos de hornblenda (Hbl) reemplazados por tremolita (Tr), actinolita (Act) y clorita (Chl); también se encuentran algunas plagioclasas (Pl) reemplazadas por epidota (Ep), y minerales opacos (Op) alterados a óxidos de hierro (OxFe). En la figura 36-B observa un molde de hornblenda reemplazado por tremolita (Tr) y actinolita (Act). La figura 36-C muestra blastos de hornblenda

con puntos triples indicando una recrystalización de este mineral y la figura 36D muestra blastos de hornblenda (Hbl) juntamente con plagioclasas reemplazadas por epidota (Ep).

Figura 36. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-38



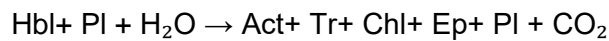
La muestra presenta asociaciones de minerales en desequilibrio textural que permite caracterizar dos episodios de metamorfismo regional, identificados como M1 y M2, en orden decreciente de edad.

El metamorfismo M1 corresponde al pico del metamorfismo en facies de transición esquistos verdes- anfibolita y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Pl-Ep-Hbl. La Hbl verde de las anfibolitas son euhedrales y presentan punto triple indicando recrystalización (Figura 36- B). La plagioclasa (Pl) tiene composición An16-20 (determinación óptica), subhedral, con alteración parcial a total a sericítica en microfracturas con maclas polisintéticas. Los blastos de



cuarzo (Qtz) se encuentran de formas anhedrales, presentan extinción ondulante y se encuentran en menor proporción (Figura 36-D).

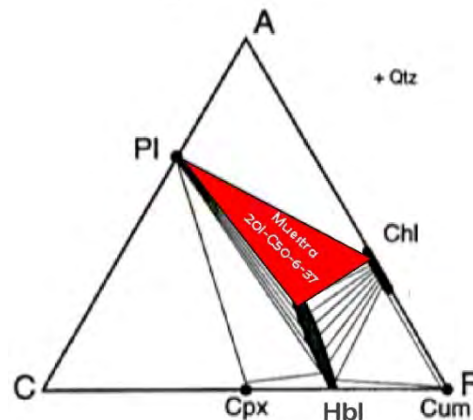
El metamorfismo M2, retrógrado post-pico, en facies de esquistos verdes se caracteriza por presentar texturas de desequilibrio mineral con la asociación mineral Tr-Chl-Act-Ep-Pl. La tremolita (Tr), actinolita (Act) y clorita (Chl) se encuentran en pseudomorfismo parcial y total de la hornblenda (Hbl) del M1 (Figura 36-B), lo cual sugiere para su formación la siguiente reacción retrógrada:



La actinolita (Act) presente en esquistos verdes desaparece y es reemplazada por sustancias alcalinas de hornblenda (Hbl) en un metamorfismo prógrado. La transformación combinada da como resultado el reemplazo del par Ab + Act por el par Pl+ Hbl, es decir, sustitución de esquistos verdes por anfibolita (Bucher & Frey, 1994), en el caso de la muestra 20I-C50-6-38 ocurre una reacción opuesta, la Pl+Hbl es reemplazado por Ab+Act.

La asociación Qtz-Pl-Ep-Hbl representada del pico metamórfico de esta muestra se refleja en la figura 37 en el diagrama ACF para facies de transición esquistos verdes - anfibolita según Bucher & Frey (1994).

Figura 37. Diagrama de compatibilidad ACF que exhibe la asociación mineral del pico metamórfico M1 de la muestra 20I-C50-6-37.



Fuente: Bucher & Frey (1994)

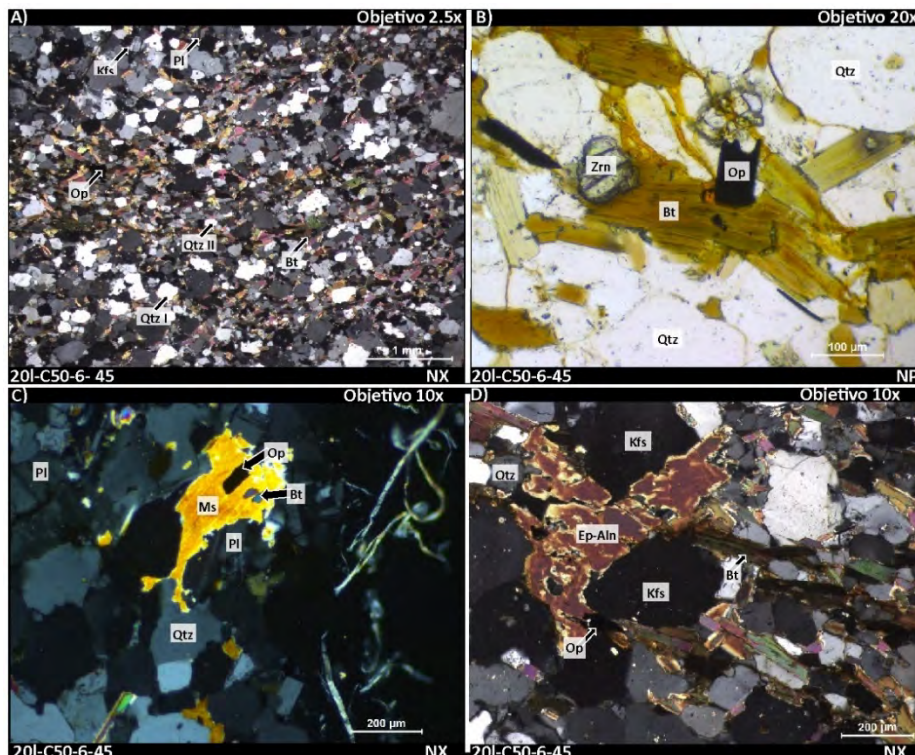
5.1.3. Medio grado metamórfico

5.1.3.1. Ortogneis

Los ortogneis fueron descritos al Sur de la localidad de Panao, pertenece a facies de esquistos verdes a anfibolita. Estos esquistos son de grano medio y textura granolepidoblástica, su esquistosidad está marcada por el alineamiento sub-paralelo de biotita y moscovita intercalada con bandas cuarzo feldespáticas (Figura 38-A). en la figura 38-B se observan blastos de circón (Zrn), cuarzo (Qtz), biotita (Bt) y minerales opacos (Op) con forma euهدral. La figura 38-C muestra blastos de moscovita con inclusiones de biotita (Bt) y minerales opacos (Op). En la figura 38-D se observa blastos de epidota del tipo allanita (Ep-Aln), juntamente con blastos de cuarzo (Qtz), feldespato potásico (Kfs) y biotita (Bt). En el estudio petrográfico se pudo identificar solo asociación mineral del clímax metamórfico M1.

El metamorfismo M1 corresponde al pico del metamorfismo en facies de esquistos verdes y se caracteriza por la asociación mineral Bt-Ms-Qtz-Op-Kfs-Ep.

Figura 38. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-45





5.1.3.2. Esquistos de biotita y rutilo.

Estos esquistos son de grano medio y textura granolepidoblástica y su esquistosidad está marcada por el alineamiento sub-paralelo de biotita, moscovita y clorita (Figura 39-A). en las figuras 39-A y 40-C se observan porfiroblastos de rutilo (Rt) envueltos de micas de clorita (Chl) y moscovita (Ms). En la muestra 20I-C50-6-24 (Figura 39) se observa porfiroblastos de rutilo (Rt) como lentes asociados a minerales opacos (Op) alrededor del rutilo, envueltos de micas de clorita (Chl) y moscovita (Ms). La figura 39-D muestra el dominio micáceo y el dominio cuarzo feldespático. En la muestra 20I-C50-6-35 (Figura 40) se observan blastos de feldespato potásico (Kfs), cuarzo con extinción ondulante (Qtz), moscovita (Ms) con inclusiones de cuarzo juntamente con blastos anhedrales de rutilo (Rt) y clorita en pseudomorfismo parcial de la biotita (Bt-Chl). La figura 40-C y D muestra a la clorita en pseudomorfismo parcial de la biotita (Bt-Chl), blastos de rutilo (Rt) superpuestos a los blastos de biotita (Bt) y el reemplazo total de biotita (Bt) por óxidos de hierro (OxFe).

Estas muestras pertenecen a facies de anfibolitas y son de medio a alto grado metamórfico y protolito pelítico. En el estudio petrográfico se pudo identificar la asociación mineral del clímax metamórfico M1 metamorfismo en facies de anfibolitas y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs-Op±Rt.

El metamorfismo M2, retrógrado post-pico, se caracteriza por presentar texturas de desequilibrio mineral con la asociación mineral Ep-Chl-Pl-Qtz. La Chl se encuentran en pseudomorfismo parcial y total de la Bt del M1 (Figura 40) , aunque esta asociación no es representativa para estimar un punto de P-T de M2.

Figura 39. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-24

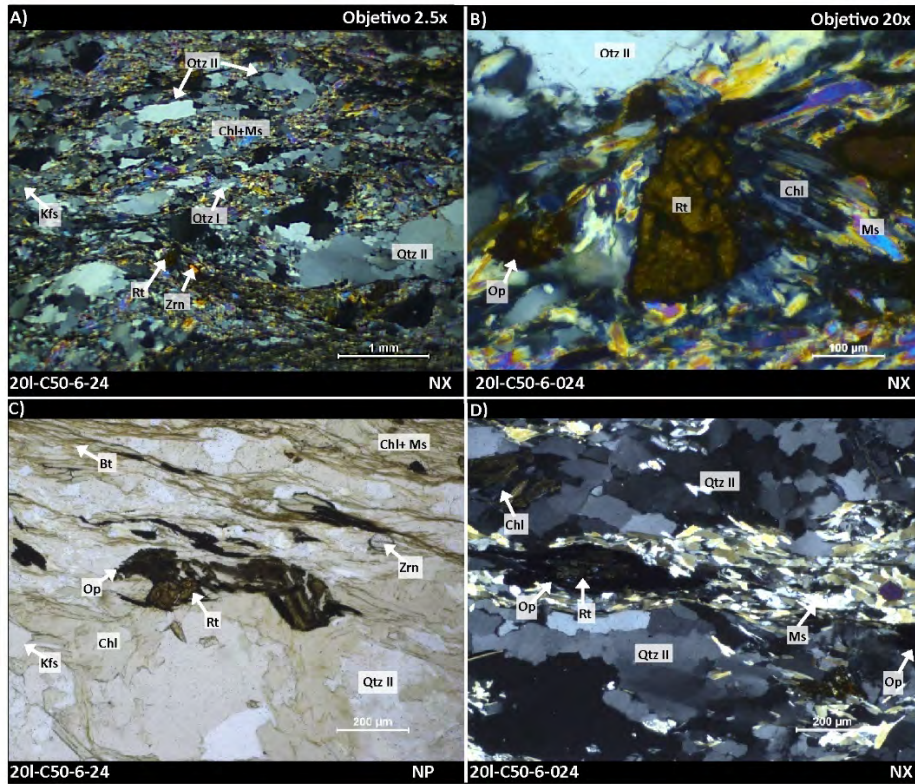
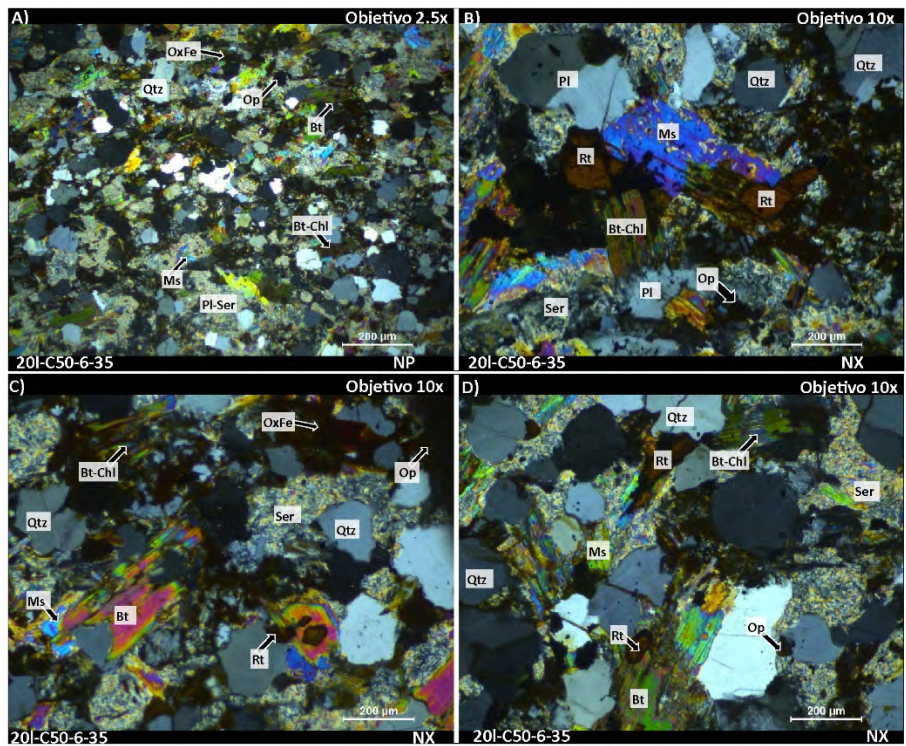


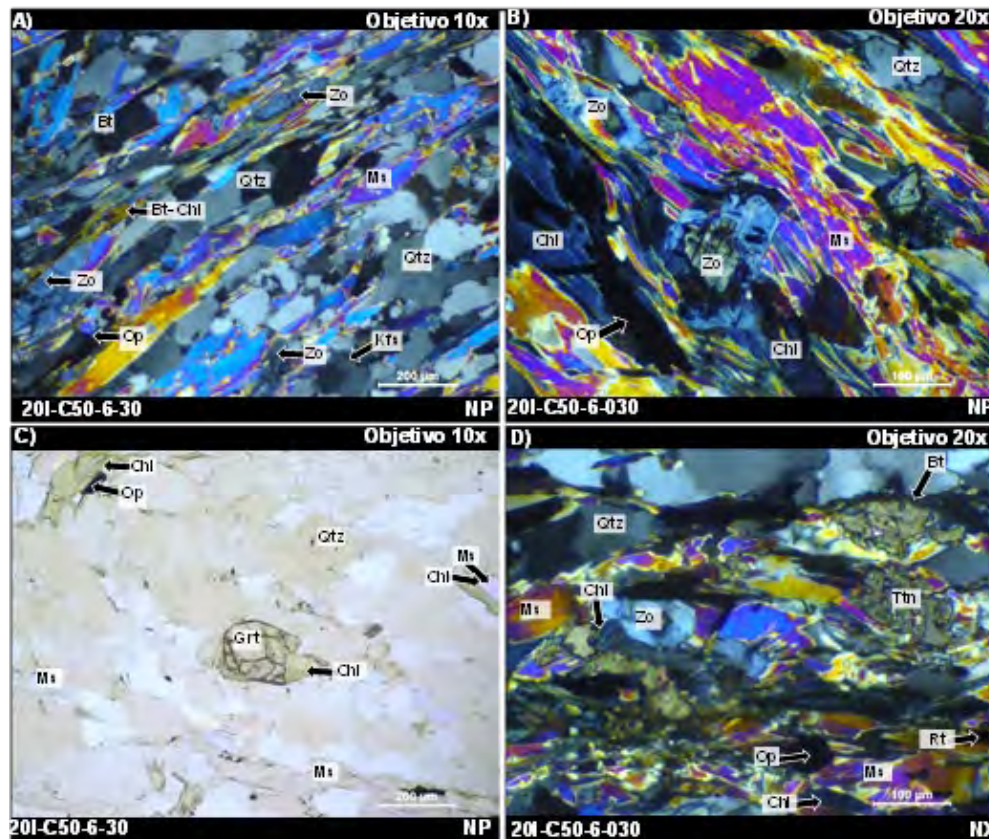
Figura 40. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-35



5.1.3.3. Esquistos de biotita, granate y rutilo.

Estos esquistos son de grano medio y textura porfirolepidoblástica y su esquistosidad está marcada por el alineamiento sub-paralelo de biotita, moscovita, epidota y clorita (Figura 41-A). en la figura 41-B y 41-D se observan porfiroblastos de zoisita (Zo) rodeados por moscovita (Ms) y clorita (Chl). En la figura 41-C se observan porfiroblastos de granate (Grt) levemente fracturado en el dominio cuarzo feldespático juntamente con micas de clorita (Chl). Pertenecen a facies de anfibolitas y son de medio a alto grado metamórfico y protolito pelítico. En el estudio petrográfico se pudo identificar la asociación mineral del clímax metamórfico M1 correspondiente al pico del metamorfismo en facies de anfibolitas y se caracteriza por la asociación mineral Bt-Qtz-Ms-Op-Zo-Ttn-Kfs±Rt±Grt. También se observó clorita en pseudomorfismo de la biotita (Bt) (Figura 41-A) en asociación Chl-Zo-Kfs-Qtz-Ms, el cual sería indicador de un metamorfismo retrogrado M2.

Figura 41. Microfotografías de la muestra 20I-C50-6-30





5.1.4. Alto grado metamórfico

Este grado metamórfico se refieren a las milonitas propias de un metamorfismo dinámico dúctil y se pudo identificar dos tipos: milonitas de esquistos y milonitas de paragneis.

5.1.4.1. Milonitas de esquistos

Estas milonitas son de color gris blanquecinas, de grano medio y textura milonítica y protolito de esquistos y foliación oblicua, se observa cuarzo (Qtz) interlobados y suturados y feldespato potásico (Kfs) alteradas a sericita (Ser) con bandas de moscovita (Ms), epidota (Ep) y biotita (Bt) deformadas, así como porfiroclastos de turmalina (Tur) (Figura 42-A). Su foliación está marcada por el alineamiento subparalelo de los de micas de biotita y moscovita con bandas de cuarzo y feldespato. En el estudio petrográfico se pudo identificar la asociación del clímax metamórfico del metamorfismo regional (M1) perteneciente a los esquistos de granate y biotita y esquistos de turmalina y el grado metamórfico de la de milonitización (ML1) de acuerdo con las microestructuras encontradas en el estudio petrográfico.

Esquistos del metamorfismo regional

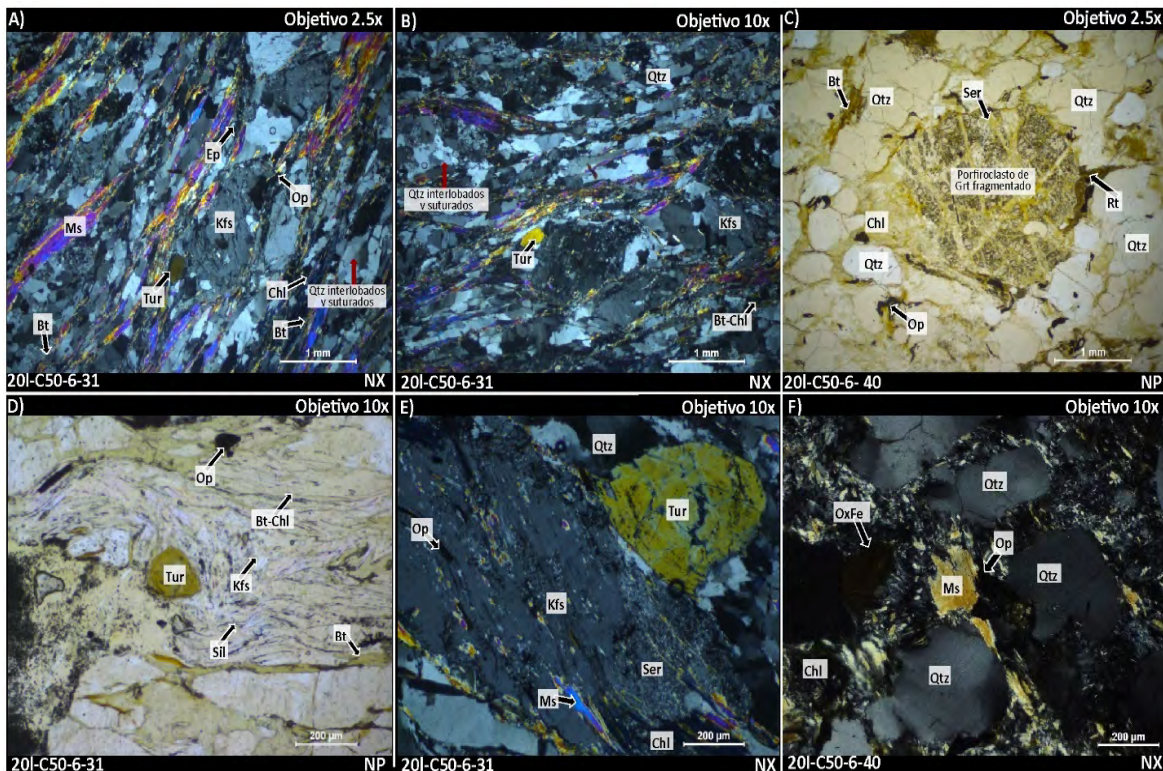
Para los esquistos de turmalina, el metamorfismo M1 que corresponde al pico del metamorfismo regional antes de la milonitización en facies de anfibolita y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Kfs-Bt-Tur-Op-Ms±Grt±Rt. Se observan porfiroclastos de turmalina (Tur) eudrales ≤ 0.35 mm y de feldespato potásico (Kfs) ≤ 0.80 mm con macla Carlsbad que albergan inclusiones finas de moscovita (Ms). La biotita (Bt) se encuentra en bandas juntamente con la moscovita (Ms) (Figura 42-A). Se observan porfiroclastos de granate (Grt) fragmentados ≤ 2.00 mm en asociación con biotita (Bt) y rutilo (Rt) (Figura 42 C y D) y feldespatos potásicos (Kfs) subhedrales a anhedrales ≤ 0.50 mm con macla ligeramente alteradas a sericita (Ser) (Figura 42-E), la muestra también presenta porfiroclastos de cuarzo (Qtz) envueltas en micas de moscovita (Ms) y clorita (Chl), también se observan óxidos de hierro (OxFe) (Figura 42-F).

Para los esquistos de granate y biotita, el metamorfismo M1 (pico del metamorfismo regional) y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Kfs-Bt-Tur-Op-Ms±Grt±Rt.

Milonitización (ML)

En sección delgada, los porfiroclastos se encuentran inmersos en una matriz granolepidoblástica de tamaño fino a medio (0.2 a 0.5 mm; Figura 42-A) compuestas principalmente por moscovita (Ms) y clorita (Chl). Los porfiroclastos son de turmalina (Tur), feldespato potásico (Kfs), granate (Grt) y cuarzo (Qtz). En términos de microestructuras deformaciones, el cuarzo (Qtz) exhibe extinción ondulante en ambos esquistos, y se encuentran de forma interlobada y suturados (Figura 42 B y C). Los feldespatos también tienen bordes irregulares y se encuentran alterados a sericita, se observan también clastos granates fragmentados, indicativos de un proceso de deformación mecánica. La textura general de la milonita sugiere un metamorfismo plástico de alta temperatura, con evidencia de recrystalización y deformación plástica de los minerales originales del esquistos. Como mineral indicativo de la milonitización se encontró sillimanita (Sil) en forma de fibrolita reemplazando a algunas moscovitas (Ms) (Figura 42-D).

Figura 42. Microfotografías de las muestras 20I-C50-6-31 y 20I-C50-6-40





5.1.4.2. Milonitas de paragneis

Estas milonitas son de color gris blanquecinas, de grano fino a medio y textura milonítica de protolito de paragneis contienen bandas de moscovita, granate y biotita con bandas cuarzo feldespáticas (Figura 43-A). En el estudio petrográfico se pudo identificar la asociación del clímax metamórfico del metamorfismo regional (M1) perteneciente a los paragneis de granate y biotita, y se determinó el grado metamórfico de la de milonitización (ML) de acuerdo con las microestructuras encontradas en el estudio petrográfico.

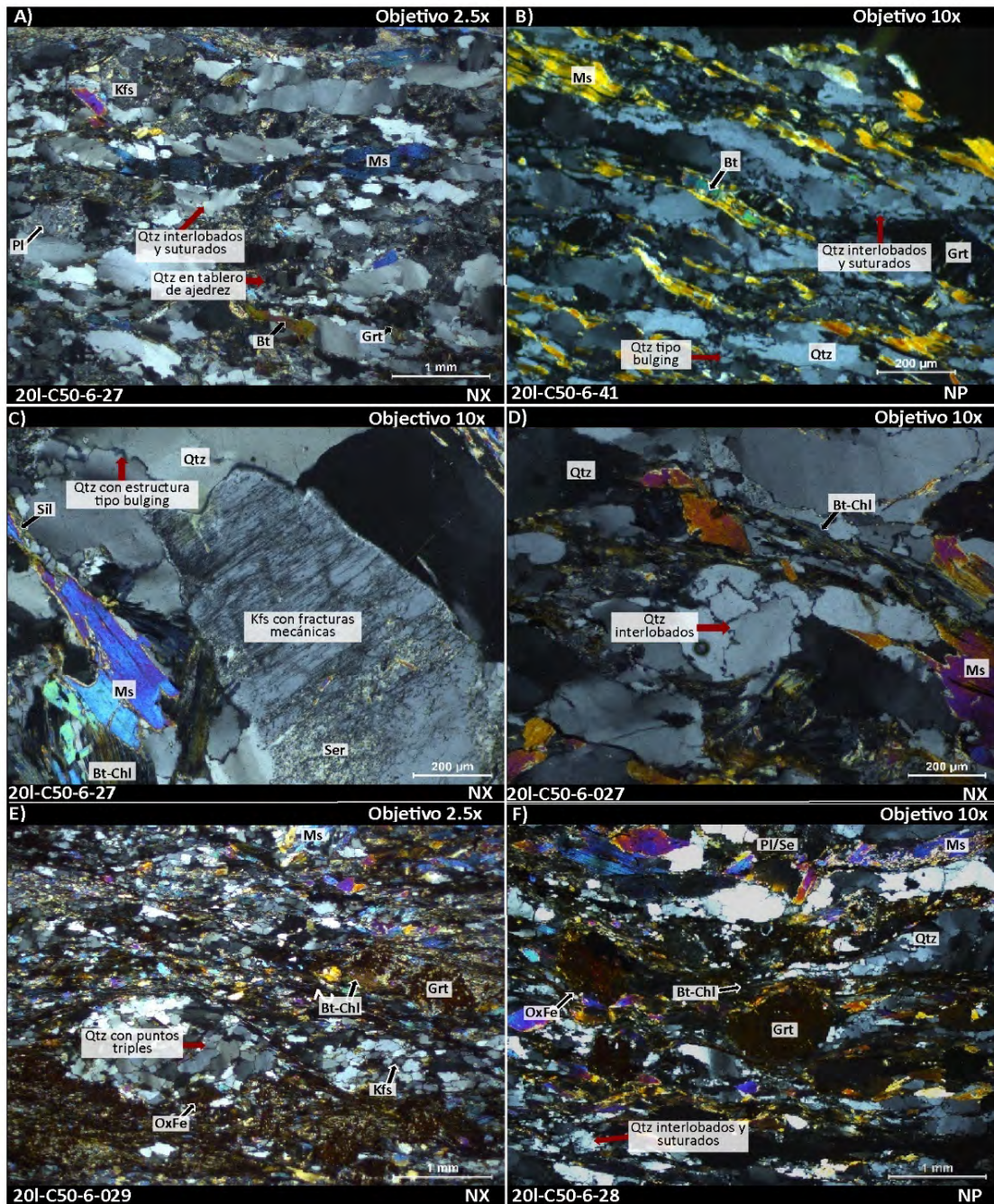
Paragneis del metamorfismo regional

Para los paragneis de granate, biotita, el metamorfismo M1 que corresponde al pico del metamorfismo regional antes de la milonitización en facies de anfibolita y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op-Ms±Rt. Se observan porfiroclastos de granate (Grt) fragmentados $\leq 0.60\text{mm}$ (Figura 43 B y E) y de feldespato potásico (Kfs) $\leq 0.80\text{ mm}$ con macla carlsbad moderadamente alteradas a sericita (Ser), la biotita (Bt) se encuentra en bandas juntamente con la moscovita (Ms) de forma euhedral (Figura 43 B y D).

Milonitización (ML)

En sección delgada, los porfiroclastos se encuentran inmersos en una matriz granolepidoblástica de tamaño fino a medio (0.2 a 0.8 mm; Figura 43-E) compuestas principalmente por moscovita (Ms) y clorita (Chl). Los porfiroclastos son de granate (Grt) fragmentados indicativos de un proceso de deformación mecánica, feldespato potásico (Kfs), moscovita (Ms) y cuarzo (Qtz) (Figura 43 A y C). En términos de microestructuras deformacionales, el cuarzo (Qtz) exhibe extinción ondulante, se encuentran de forma interlobada y suturados (Figura 43 A y D), en algunas muestras se logró observar cuarzos (Qtz) con puntos triples (Figura 43-E), lo que indicaría una milonitización de alta temperatura; también se logró identificar algunos cuarzos (Qtz) con macla de tablero de ajedrez y tipo bulging; así como feldespatos potásicos (Kfs) con fracturas mecánicas que indicarían milonitizaciones de intermedia temperatura.

Figura 43. Microfotografías de las muestras de milonitas de paragneis



La textura general de la milonita sugiere un metamorfismo plástico de alta temperatura, con evidencia de recristalización y deformación plástica de los minerales originales como la moscovita (Ms) del paragneis protolítico.



5.2. Estimación de las condiciones de P-T del metamorfismo

En este apartado se estimarán los rangos de P y T del metamorfismo a los que fueron sometidos las rocas estudiadas. Es pertinente mencionar que para el presente estudio no se realizaron estudios geotermobarométricos, por cuanto el conocimiento de la geotermobarometría expuesta en este capítulo, está basado principalmente en la información recopilada de los estudios geotermobarométricos en las rocas metamórficas de Huánuco y La Unión realizados por el Dr. Cardona en su tesis doctoral titulada: “Reconocimiento de la evolución tectónica del margen protoandino del centro-norte del Perú, a partir de datos geoquímicos e isotópicos del basamento de la Cordillera Oriental en la región Huánuco-La Unión”, así como información extraída de diversas publicaciones y bibliografía referente a rocas metamórficas, tomando en cuenta las asociaciones minerales encontradas.

Según Bucher & Frey (1994), las asociaciones de minerales permiten acotar en forma aproximada los rangos de P-T para los distintos episodios de metamorfismo. A pesar de que son rangos amplios, poco precisos, son útiles para caracterizar la trayectoria textural de las rocas metamórficas antes de su exhumación.

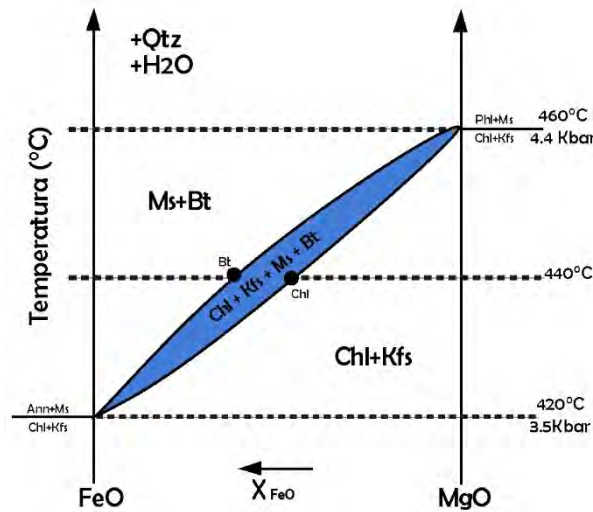
5.2.1. Bajo grado metamórfico

5.2.1.1. Esquistos de biotita

Para los esquistos de biotita, la presencia de biotita + moscovita + cuarzo y + feldespato potásico es diagnóstica de facies de esquistos verdes en zona de biotita. La biotita se forma a expensas del feldespato potásico y el clorito y su primera aparición en pelitas ricas en aluminio ocurre a los 400°C (Bucher & Frey, 1994). La asociación encontrada se encuentra en equilibrio bajo condiciones de 420 a 460°C (Figura 44) donde la asociación se mantiene estable y a aproximadamente a 3.5 a 4.4 Kbar en el geotermómetro de cianita en estado puro del sistema KFASH (Bucher & Frey, 1994). El hecho que a estas condiciones no se hayan podido encontrar cloritoide indicaría que la pelita metamorfoseada era pobre en aluminio según Bucher & Frey (1994).



Figura 44. Diagrama pTX que representa el conjunto Kfs - Ms - Bt - Chl que indica el rango de temperatura para la muestra 20I-C50-6-10.



Fuente: Bucher & Frey (1994).

5.2.1.2. Esquistos de tremolita y clorita

Para los esquistos de tremolita y clorita, la presencia de actinolita + clorita + epidota + plagioclasa + tremolita es diagnóstica de facies de esquistos verdes de protolito metabasítico (Bucher & Frey, 1994). Cardona (2006) describió esquistos de actinolita y tremolita al sur de Huánuco donde realizó trabajos de geotermometría, la clorita correspondía a ripidolita y picnoclorito, usando los geotermómetros de Catheline (1988) y Jowett (1991), las temperaturas calculadas en clorita para para este esquistos es $344 \pm 15^\circ\text{C}$. La asociación mineralógica: actinolita + clorita + epidota + plagioclasa + cuarzo + titanita se presentan en unas condiciones de temperatura entre 350 a 475°C y de 4 Kbar (Liou et al., 1974) y (Moody et al., 1983). Las condiciones de P-T estimadas para esta asociación según Bucher & Frey (1994) es de 400 a 450°C y una presión de 3.3 a 4 Kbar, la cual es considerada para esta muestra.

5.2.2. Bajo a medio grado metamórfico

5.2.2.1. Anfibolitas de hornblenda y biotita

Para las anfibolitas de hornblenda y biotita, la presencia de la asociación mineral cuarzo-biotita-moscovita-plagioclasa-hornblenda-opaco-epidota-titanita es diagnóstica de facies en



transición esquistos verdes - anfibolita (Bucher & Frey, 1994). La biotita está presente como un mineral adicional que contiene K desde el esquistos verde hasta las facies de anfibolita superior en metabasitas y esta aparece a alrededor de los 400°C (Bucher & Frey, 1994). La asociación completa sugiere temperaturas de 500 a 550°C y 5 Kbar de presión aproximadamente (Barrow, 1893).

5.2.2.2. Anfibolitas de hornblenda y tremolita

La primera asociación mineral de estas anfibolitas corresponde al metamorfismo M1, de cuarzo-plagioclasa-epidota-hornblenda, relacionada al clímax metamórfico y es diagnóstica de facies de transición esquistos verdes - anfibolita de protolito metabasítico con condiciones de 500 a 550° C y 5 a 6 Kbar aproximadamente (Bucher & Frey, 1994)

La asociación mineralógica correspondiente al metamorfismo M2, tremolita-clorita-actinolita-epidota-plagioclasa es diagnóstica de facies de esquistos verdes según Bucher & Frey (1994), los cuales sugieren condiciones de P-T estimadas para esta asociación de 400 a 450°C y una presión de 3.3 a 4 Kbar., rango que también fue considerado por Cardona (2006) en esquistos con la misma asociación mineral.

5.2.3. Medio grado metamórfico

5.2.3.1. Ortogneis

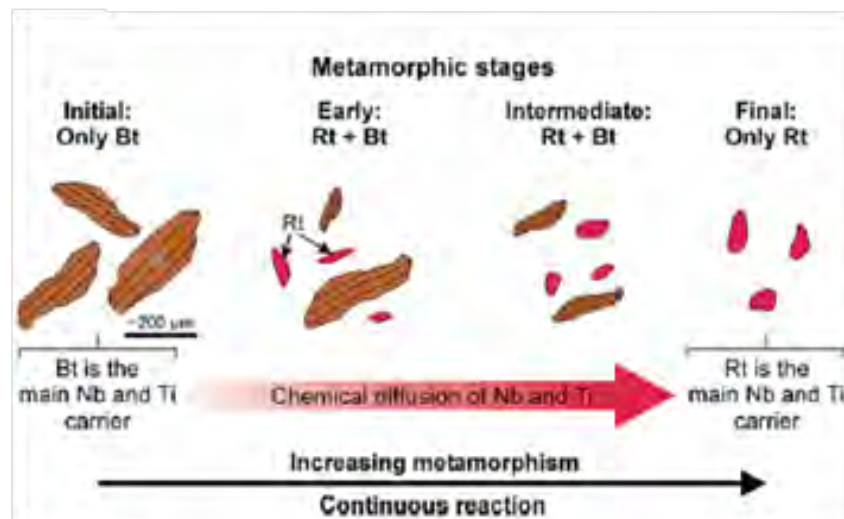
Para los ortogneis, la asociación mineral biotita-moscovita-cuarzo-feldespato potásico-epidota es diagnóstica en facies de anfibolita (Yardley & Warren, 2021). Cardona (2006) describió la asociación mineral cuarzo-biotita-moscovita- plagioclasa-feldespato potásico-epidota en un gneis en la localidad de Huánuco perteneciente a facies de anfibolita, usando el termómetro de Hoisch (1989) basado en la sustitución de Mg entre moscovita y biotita, las temperaturas calculadas para este ortogneis fueron 565 a 593°C y 5Kbar (Cardona, 2006), rangos considerados para estas rocas en el área de estudio.

5.2.3.2. Esquistos de biotita y rutilo

Estos esquistos presentan una asociación M1 del pico metamórfico correspondiente a cuarzo + biotita + moscovita + plagioclasa + feldespato potásico + granate + titanita ± rutilo que es diagnóstica de facies anfibolita de protolito pelítico (Luvizotto & Zack, 2009).

Luvizotto & Zack (2009) estudió la formación de rutilo a partir de biotita e ilmenita y su comportamiento esperado de Nb en la zona de Ivrea-Verbano, las rocas estudiadas mostraron texturas que evidencian el crecimiento progresivo de rutilo asociado con la descomposición de biotita e ilmenita rica en titanio. El modelo conceptual simplificado incluye cuatro pasos principales: (Paso inicial) solo está presente la biotita, que incorpora todo el titanio (Ti) y niobio (Nb) del sistema. (Etapa temprana) aparecen algunos granos de rutilo, pero la biotita sigue siendo el principal portador de Ti, con una alta relación biotita/rutilo (Bt/Rt), el Nb se distribuye entre biotita y rutilo. (Reacción en curso) la relación Bt/Rt disminuye y el rutilo se convierte en el principal portador de Ti y Nb. (Etapa final), la biotita se ha consumido y solo queda el rutilo, que incorpora todo el Ti y Nb de la roca (Figura 45).

Figura 45. *Cristalización de rutilo a partir de biotita en paragneisses de facies de granulita de la zona Ivrea-Verbano.*



Fuente: Luvizotto y Zack (2009).

Nota. Las abreviaturas minerales son las siguientes: Bt = Biotita, Rt = Rutilo.



En base a los resultados de la petrografía, los esquistos de biotita y rutilo de la zona de estudio se encontrarían en la etapa temprana donde aún hay presencia significativa de biotita (Figura 39 y 40). Las condiciones de P-T estimadas por para estos estadios con rutilo es de 520 a 630°C y 7 a 8 Kbar (Luvizotto et al., 2009).

El pseudomorfismo de clorita (Chl) por biotita (Bt) indicaría un metamorfismo retrógrado M2 con asociación Ep-Chl-Pl-Qtz; esta asociación no es indicativa de un rango de PT representativa.

5.2.3.3. Esquistos de biotita, granate y rutilo.

La asociación M1 del pico metamórfico de estos esquistos es cuarzo + biotita + moscovita + zoicita + feldespato potásico + titanita + opaco ± rutilo ± granate que es diagnóstica de facies anfibolita de protolito pelítico (Luvizotto & Zack, 2009).

Cardona (2006) estimó para los esquistos de biotita y granate en Huánuco, temperaturas entre 537-600°C según la calibración de Green y Hellman (1982) y presiones entre 5.7 y 7.8 Kbar y con el barómetro granate-moscovita-cuarzo-plagioclasa (Hodges y Crowley, 1985); considerando la presencia del rutilo como mineral accesorio, las condiciones estimadas por Cardona (2006) se mantienen en el margen de estabilidad del rutilo en etapas tempranas determinadas por Luvizotto et al. (2009) y condiciones donde aún se mantiene estable el granate según Bucher & Frey (1994).

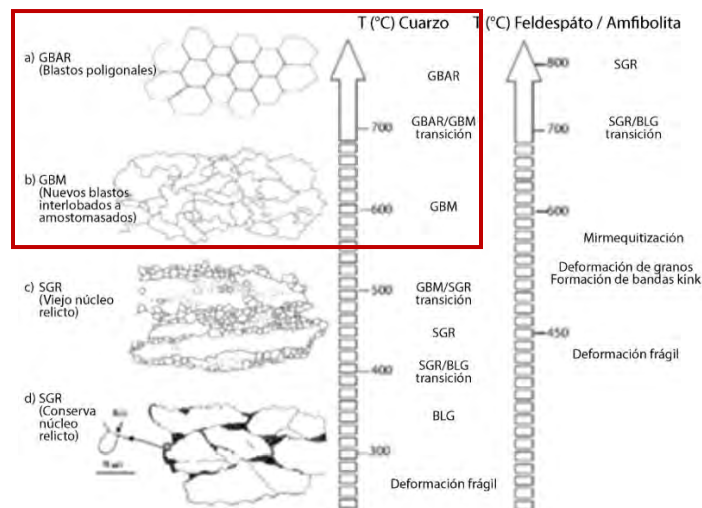
5.2.4. Alto grado metamórfico

Se consideró como rocas de alto grado metamórfico a las milonitas de esquistos y paragneis, de acuerdo con las microestructuras encontradas producto de la milonitización; sin embargo los protolitos de las milonitas (esquistos y paragneis) presentaron asociaciones de grado metamórfico intermedio en facies de anfibolita. El hecho de que las rocas se describieran de manera integral y ya que el último evento que afectó a estas rocas de grado de metamorfismo regional fue la milonitización, estas se describen en este apartado.

5.2.4.1. Milonitización

Para estimar el grado metamórfico y la temperatura de la milonitización se tomaron en cuenta las microestructuras encontradas en los feldespatos y cuarzo, seguidamente se comparó con el estudio de deformación realizado por Owona et al. (2013) en estos minerales. Las microestructuras deformaciones encontradas en las milonitas son: el cuarzo (Qtz) se encuentran en extinción ondulante, de forma interlobada y suturados (Figura 42 A y D), en algunas muestras se observó cuarzos (Qtz) con puntos triples (Figura 42-E), lo que indicaría una milonitización de alta temperatura; también se logró identificar algunos cuarzos (Qtz) con macla de tablero de ajedrez y tipo bulging; así como feldespatos potásicos (Kfs) con fracturas mecánicas que indicarían milonitizaciones de intermedia temperatura. Las microestructuras de estas milonitas indicarían una milonitización de alta temperatura en zonas GBM y GBAR por los blastos de cuarzo interlobados hasta llegar a la cristalización de puntos triples con temperaturas de 600-700 °C (Figura 46), aunque en algunas muestras quedan microestructuras relictas tipo bulging (BLG) y tablero de ajedrez (SGR) indicando que la milonitización pasó por deformaciones de baja y mediana temperatura hasta llegar a alta temperatura.

Figura 46. Características de la recristalización dinámica y las condiciones de temperatura relacionadas



Fuente: Owona et al. (2013)

Nota. El recuadro rojo indica las temperaturas de la deformación en el área de estudio.



Protolito esquistoso

Los esquistos de turmalina con asociación feldespato potásico + biotita + turmalina + moscovita se encuentran junto a esquistos de granate y biotita de asociación mineral cuarzo + granate + biotita + feldespato potásico+ moscovita y rutilo como mineral accesorio, indicando una serie de condiciones de presión y temperatura que reflejan el metamorfismo en facies de anfibolita que sugieren que las rocas han experimentado condiciones de metamorfismo de grado medio.

Las asociaciones minerales observadas, como granate-biotita, son típicas de las facies de anfibolita y sugiere temperaturas que varían entre 500°C y 600°C, y presiones de aproximadamente 5 a 7 Kbar (Bucher & Frey, 1994). La formación de turmalina, que es estable en una amplia gama de condiciones, junto con granate y biotita, indica que las temperaturas alcanzaron al menos 550°C y que las presiones podrían haber superado los 6 kilobares (Bucher & Frey, 1994). Cardona (2006) estimó rangos de temperatura y presión para esquistos de granate y biotita en Huánuco de temperaturas de 537 a 600°C y presiones entre 5,7 a 7,8 Kbar, lo que indicaría que los esquistos de esta unidad tendrían condiciones aproximadas a las estudiadas por Cardona (2006) en Huánuco, condiciones que se tomarán como representativas para estos protolitos esquistosos.

Protolito paragneis

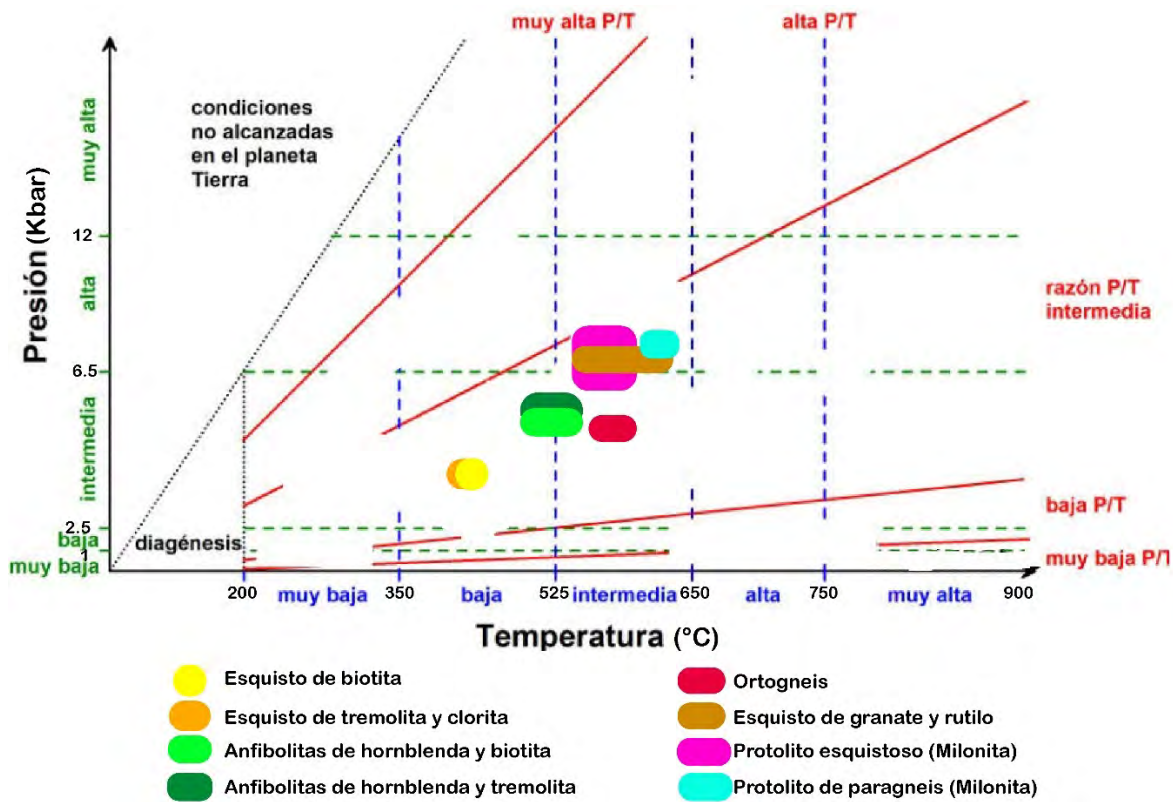
Para los paragneis de granate, biotita y rutilo, el metamorfismo M1 que corresponde al pico del metamorfismo regional antes de la milonitización en facies de anfibolita y se caracteriza por la asociación mineral Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op-Ms±Rt. Según Bucher & Frey (1994), la biotita rica en Fe se descompone en granate + feldespato potásico a partir de unos 600°C y el conjunto feldespato potásico + granate + biotita es estable en los gneises, lo que nos indicaría temperaturas mayores a 600 °C en los paragneis de la zona de estudio. Luvizotto & Zack (2009) estudiaron la formación de rutilo a partir de biotita y comportamiento su contenido de Nb en la zona de Ivrea-Verbano para la asociación biotita-granate-rutilo en facies de anfibolitas y



granulitas. El rutilo es un mineral accesorio en estos paragneis, se tomó en cuenta los primeros estadios de la relación biotita – rutilo (Figura 43) en grado metamórfico alto; tomando en consideración las condiciones de PT estimadas por Luvizotto & Zack (2009) para estos estadios es de 520 a 630°C y 7 a 8 Kbar. Tomando en cuenta los datos proporcionados por Bucher & Frey (1994) y Luvizotto & Zack (2009) se estiman condiciones de temperatura y presión de 600 a 630°C y 7 Kbar.

La figura 47 muestra el gráfico resumen de los grados metamórficos de las rocas estudiadas del Complejo metamórfico del Marañón en el área de estudio de acuerdo con las condiciones de temperatura y presión estimadas para las rocas producto del metamorfismo regional.

Figura 47. Gráfico de grados metamórficos de acuerdo con las condiciones de presión y temperatura estimadas para el metamorfismo regional de las rocas de área de estudio.





5.3. Interpretación de la trayectoria P-T-t

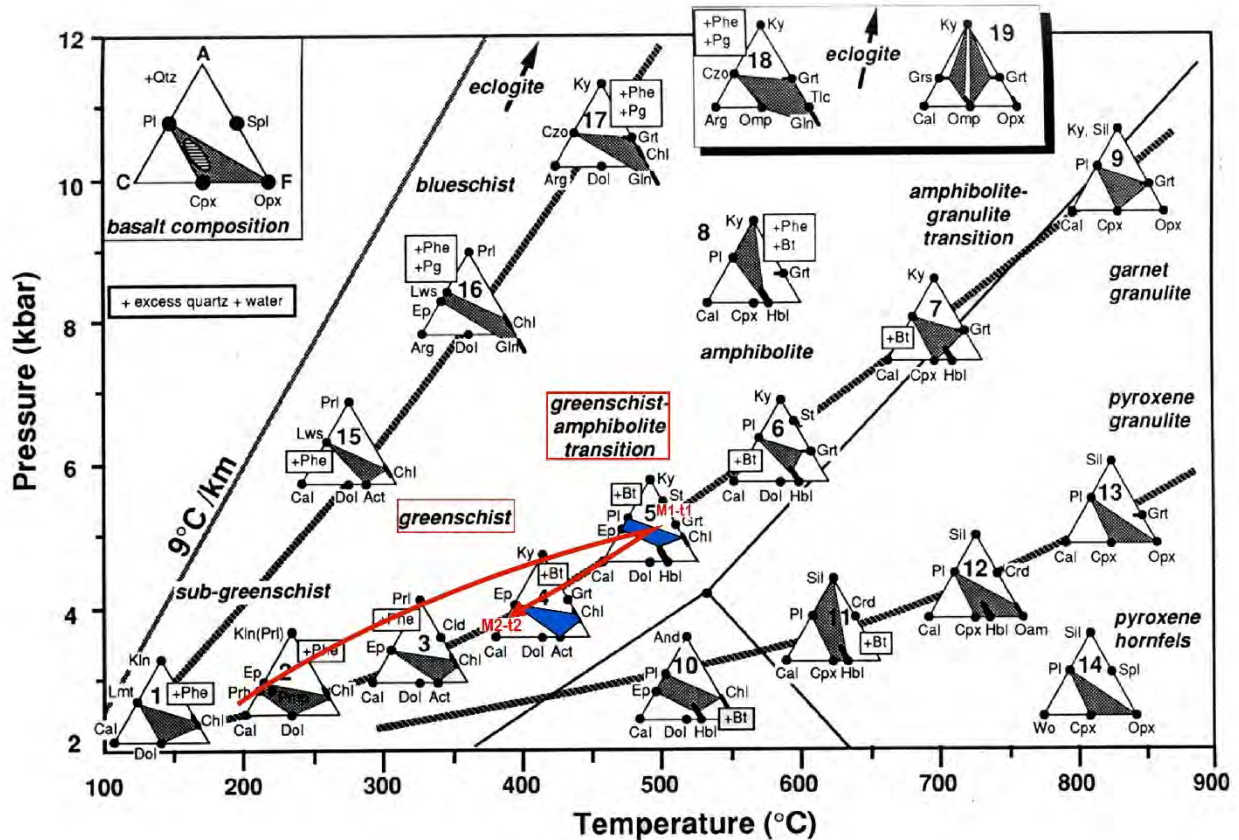
En el estudio petrográfico, solo las anfibolitas de Chaglla cumplen con las condiciones necesarias para trazar una trayectoria de P-T-t (t = tiempo o edad) donde se pudieron identificar dos episodios de metamorfismo (Figura 48). Por el momento, y hasta no contar con datos geocronológicos propios se tomó en consideración las dataciones de Cardona (2006) realizadas en la región de Huánuco que indica edades de 480-460 Ma (Ordovícico inferior) para el metamorfismo del Complejo Metamórfico del Marañón.

El metamorfismo M1-t1, indica un metamorfismo progresivo con pico metamórfico en la asociación cuarzo-plagioclasa-epidota-hornblenda indicando condiciones de 500 a 550°C y 5 a 6 Kbar aproximadamente (Bucher & Frey, 1994), lo que sugiere que estas anfibolitas inicialmente se formaron bajo condiciones de baja a mediana temperatura y presión en facies de transición esquistos verdes a anfibolita. Posteriormente, estas rocas habrían experimentado un enfriamiento y una disminución de presión M2-t2 (metamorfismo retrógrado) caracterizada por el pseudomorfismo de hornblenda por tremolita y actinolita con asociación mineral del M2-t2 en tremolita-clorita-actinolita-epidota-plagioclasa que es diagnóstica de facies de esquistos verdes (Yardley, 1989; Bucher y Frey, 1994) que sugieren condiciones entre 400 y 450°C, de 4 Kbar de presión (Spear, 1993), y 350 a 475 °C y 6 Kbar (Liou et al., 1974; Moody et al., 1983).

Este proceso retrógrado es característico de un ambiente tectónico en el cual las rocas fueron exhumadas desde profundidades mayores hacia niveles más superficiales de la corteza terrestre. La retrogradación de hornblenda y plagioclasa a minerales como tremolita, clorita y epidota en las anfibolitas sugiere que la trayectoria P-T-t tipo horaria característica de áreas de cabalgamientos y zonas de subducción, seguida por una fase de descompresión y enfriamiento según González & Marcos (2023), asociada al enfriamiento e hidratación de las fases minerales anhidras (Figura 48).



Figura 48. Trayectoria P-T-t para la muestra 20I-C50-6-38, anfibolitas de Chaglla.



Fuente: Bucher & Frey (1994), p. 263.

Varias de las muestras estudiadas presentan reemplazo pseudomórfico de biotita por clorita, lo cual indicaría un metamorfismo retrógrado. Sin embargo, no se encontraron asociaciones minerales representativas que permitan estimar con precisión las condiciones de presión y temperatura (P-T) durante la retrogradación. Este reemplazo sugiere que, tras alcanzar condiciones de pico metamórfico, las rocas experimentaron una disminución en temperatura y presión, llevando a la formación de clorita a expensas de la biotita.



CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Cartografiado geológico

En el anexo 2 se presenta el mapa preliminar regional de las unidades geológicas y estructuras realizado por De la Cruz et al. (1996) a escala 1:100 000 del cuadrángulo de Panao 20I de INGEMMET, en el cual identificaron dos unidades metamórficas del Complejo Metamórfico del Marañón en el área de estudio, esquistos (Pe-e) y gneis (Pe-gn) de edad Neoproterozoica.

En el anexo 3, se muestra la cartografía detallada realizada para el área de estudio (ver anexo 3). Las diferencias más significativas se evidencian en que en este estudio se ha logrado identificar cinco unidades metamórficas en el Complejo Metamórfico del Marañón: esquistos (Oi-cm-esq), anfibolitas (Oi-cm-anf), ortogneis (Oi-cm-gn), milonitas de esquistos (Oi-cm-mlt, esq) y milonitas de paragneis (Oi-cm-mlt, pgn), litologías que no se detallaron en los estudios realizados por De la Cruz et al. (1996) dentro del Complejo Metamórfico del Marañón; en la localidad de San Pablo de Pillao, De la Cruz et al. (1996) cartografía esta área como un intrusivo diorítico, mientras que en el presente estudio se considera como Complejo Metamórfico del Marañón por las observaciones realizadas en campo. Además, se lograron diferenciar cuatro cuerpos ígneos en el área de estudio, los cuales corresponden a sienogranitos (C-qe-sgr), monzogranito (C-qe-mgr), granito (Cp-sj3-gr) y diorita (PET-3-di); mientras que de De la Cruz et al. (1996) solo reconoció dos cuerpos intrusivos: diorita (Js-di) y el granito de Paucartambo (Ps-gr). Con respecto al Grupo Mitu, este se evidencia en los poblados de San José de Miraflores y Huanacaure, mientras que en el mapa realizado por De la Cruz et al. (1996) esta unidad solo es considerada en el poblado de Huanacaure.

Las diferencias observadas podrían deberse a la mayor resolución y el enfoque detallado del trabajo de campo realizado en este estudio, lo que ha permitido una identificación más precisa y diferenciada de las unidades metamórficas e ígneas. Estas diferencias tienen importantes implicaciones para la comprensión de la evolución geológica de la región.



6.2. Análisis petrográfico

6.2.1. Bajo grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996) describió esquistos cuarzo micáceos en la localidad de Panao, con asociaciones mineralógicas de cuarzo-moscovita, cuarzo-moscovita-clorita, cuarzo-biotita-micas, y micas-cuarzo pertenecientes en facies de esquistos verdes, aunque no mencionan más detalles de su petrografía. En esta investigación, los esquistos de biotita fueron identificados en el poblado de Panao; los cuales exhiben una textura granolepidoblástica con una foliación pronunciada debido al alineamiento de biotita y moscovita, y es de protolito pelítico, el pico del metamorfismo (M1) en estos esquistos corresponde a la facies de esquistos verdes, con una asociación mineral dominante de biotita, moscovita, cuarzo, minerales opacos y feldespatos potásico. Por otro lado, también se describieron esquistos de tremolita y clorita, situados en el borde oeste fuera del área de estudio por la localidad de San Pablo de Pillao, las cuales también se atribuyen a la facies de esquistos verdes, pero con un protolito basáltico, presenta textura granoblástica y la foliación está marcada por tremolita, moscovita y plagioclasa con un pico metamórfico M1 en la asociación mineral principal de plagioclasa, clorita, tremolita y actinolita.

De lo expuesto líneas arriba se puede concluir que en esta investigación se describieron más detalladamente la petrografía de los esquistos de bajo grado en el área de estudio, determinando la asociación mineral del pico metamórfico en cada una de estas rocas.

6.2.2. Bajo a medio grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996), no describen ninguna unidad relacionada a este grado metamórfico en el boletín de Panao. Sin embargo, en este estudio se describieron en este grado metamórfico a anfibolitas de hornblenda y biotita encontradas en Silla Punta que exhiben una textura nematoblástica y una foliación marcada por la presencia de anfíboles, plagioclasa y biotita, las cuales registran el metamorfismo M1, indicativo de facies en transición de esquistos verdes a anfibolita, con una asociación mineral principal de cuarzo-biotita-moscovita-plagioclasa-hornblenda-minerales opacos-epidota-titanita, también se describen anfibolitas de hornblenda y



tremolita localizadas en Chaglla que presentan una textura nematoblástica con una foliación definida por anfíboles y plagioclasa; este caso, el pico metamórfico progresivo M1 se caracteriza por una asociación mineral de cuarzo-plagioclasa-epidota-hornblenda, mientras que el metamorfismo retrógrado M2 revela la presencia de tremolita, actinolita y clorita, reemplazando a la hornblenda del M1.

6.2.3. Medio grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996), solo describieron en este grado metamórfico a gneis con micas-cuarzo y plagioclasas, gneis de granate-moscovita-biotita y gneis de biotita-moscovita al suroeste de Panao. En este estudio se describe en la misma localidad un ortogneis de textura granolepidoblástica con biotita, moscovita y bandas cuarzo-feldespáticas; la asociación mineral correspondiente al pico metamórfico M1 en estos ortogneis es biotita-moscovita-cuarzo-minerales opacos-feldespato potásico-epidota, como se expresa, en estas rocas no se pudieron identificar granates como en las descripciones de De la Cruz et al. (1996). Además se encontraron en este grado metamórfico a esquistos de biotita y rutilo que exhiben una textura granolepidoblástica, con una foliación definida por biotita, moscovita y clorita, el metamorfismo del pico metamórfico M1 en facies de anfibolita caracterizada por una asociación mineral de cuarzo, biotita, moscovita, plagioclasa, feldespato potásico, minerales opacos y rutilo como mineral accesorio. También se describieron esquistos de biotita, granate y rutilo que presentan una textura porfirolepidoblástica, con una esquistosidad dominada por biotita, moscovita, epidota y clorita, la asociación mineral correspondiente al pico metamórfico M1 es biotita, granate, cuarzo, moscovita, minerales opacos, zoisita, titanita, feldespato potásico y rutilo como mineral accesorio; además se observaron texturas de desequilibrio mineral en ambas rocas, lo que indicaría un metamorfismo retrógrado M2, la cual consta del reemplazo parcial pseudomórfico de biotita por clorita.



6.2.4. Alto grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996) en el boletín de Panao de INGEMMET no identificaron ninguna unidad perteneciente a este grado metamórfico. Sin embargo, en este estudio se identificaron milonitas de esquistos y paragneis que revelaron características microestructurales y mineralógicas consistentes con un alto grado relacionado a un metamorfismo dinámico; además también se identificó la asociación mineralógica relictas del metamorfismo regional de los esquistos y paragneis antes de su milonitización que indica un grado metamórfico medio. El grado metamórfico alto es caracterizado por la extinción ondulada, formas interlobadas y granos suturados de cuarzo que indican un proceso de milonitización de alta temperatura.

En las milonitas de esquistos, se observó una foliación marcada por el alineamiento subparalelo de micas de biotita y moscovita, con la presencia de cuarzo y feldespato en bandas, que muestran una asociación mineral típica del clímax del metamorfismo regional (M1) la cual es Qtz-Kfs-Bt-Tur-Op- $Ms \pm Grt \pm Rt$. Por otro lado, las milonitas de paragneis exhibieron una textura porfiroclástica con bandas de moscovita, granate y biotita, junto con cuarzo y feldespato, la asociación mineral del pico del metamorfismo regional en facies de anfibolita la cual es Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op- $Ms \pm Rt$.

6.3. Condiciones de P-T

De la Cruz et al. (1996) no detalla las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón en el boletín de Panao de INGEMMET. Sin embargo, al oeste del área de estudio, Cardona (2006) realizó en su tesis doctoral estudios geotermobarométricos en las rocas metamórficas de Huánuco y La Unión, algunos de estos datos fueron considerados para la estimación de condiciones de presión y temperatura de acuerdo con las asociaciones encontradas.



6.3.1. Bajo grado metamórfico

En los esquistos de biotita, la presencia de biotita, moscovita, cuarzo y feldespato potásico, la asociación mineral observada se encuentra en equilibrio bajo condiciones de 420 a 460°C y presiones de 3.5 a 4.4 Kbar, como se muestra en la Figura 44. La ausencia de cloritoide sugiere una pelita pobre en aluminio, conforme a Bucher & Frey (1994). Por otro lado, los esquistos de tremolita y clorita presentan una asociación mineral de actinolita, clorita, epidota, plagioclasa y tremolita, características de facies de esquistos verdes de protolitos metabásicos con temperaturas de 400 a 450°C y presiones de 3.3 a 4 Kbar (Bucher & Frey, 1994), esta información coincide con los esquistos descritos por Cardona (2006) al sur de Huánuco, con temperaturas calculadas para la clorita entre $344\pm 15^{\circ}\text{C}$ utilizando diversos geotermómetros (Catheline, 1988; Jowett, 1991; Spear, 1980).

6.3.2. Bajo a medio grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996) no identifico rocas pertenecientes a este grado metamórfico y Cardona (2006) no encontró litologías correspondientes a este grado metamórfico en Huánuco y la Unión. Sin embargo en el presente estudio se logró identificar a anfibolitas de hornblenda y biotita, y las anfibolitas de hornblenda y tremolita características de la transición de facies de esquistos verdes a anfibolita donde el pico metamórfico alcanza temperaturas estimadas de 550 a 600°C y presiones de aproximadamente 5 Kbar; el metamorfismo retrógrado M2 presenta condiciones de 400 a 450°C y presiones de 4 Kbar (Bucher & Frey, 1994), condiciones que también fueron considerados por Cardona (2006) en estudios de esquistos de bajo grado metamórfico en Huánuco al oeste del área de estudio con la misma asociación mineral.

6.2.3. Medio grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996) identificó gneis pertenecientes a este grado metamórfico pero no estimó las condiciones de presión y temperatura de estas rocas y Cardona (2006) describió una un gneis y esquisto de granate en la localidad de Huánuco, indicando temperaturas de 565-593°C y presiones de 5 Kbar, utilizando el termómetro de Hoisch (1989), basado en la sustitución de



Mg entre moscovita y biotita. En este estudio se identificaron tres litologías pertenecientes a este grado metamórfico: ortogneis, esquistos de biotita y rutilo y esquistos de granate, biotita y rutilo pertenecientes a facies de anfibolita, las condiciones de temperatura y presión estimadas para estas rocas es de 565-593°C y 5 Kbar para los ortogneis, 520 a 630°C y 7 a 8 Kbar para los esquistos de biotita y rutilo, y 537-600°C y 5.7 a 7.8 Kbar para esquistos de granate, biotita y rutilo. Los resultados se estimaron en base a los resultados de geotermobarometría obtenidos por Cardona (2006) y tomando en cuenta la estabilidad del rutilo en su primer estadio según lo estudiado por Luvizotto et al. (2009).

6.2.4. Alto grado metamórfico

De la Cruz et al. (1996) no identifico rocas pertenecientes a este grado metamórfico, sin embargo Cardona (2006) milonitas al sur de Huánuco indicando que son producto de una deformación dúctil de alta temperatura. En el presente estudio se analizaron milonitas de esquistos y paragneis y se estimaron las condiciones de temperatura y presión de la deformación que provocó el metamorfismo dinámico, estas milonitas mostraron microestructuras como cuarzo con extinción ondulante, interlobados y en puntos triples, que indican que la milonitización fue a altas temperaturas, alrededor de 600-700°C, conforme a Owona et al. (2013) (Figura 46); las estructuras relictas como bulging y tablero de ajedrez en el cuarzo sugieren que la deformación pasó por temperaturas bajas y medias antes de alcanzar altas temperaturas.

Las asociaciones relictas del pico del metamorfismo regional de los protolitos de las milonitas indicarían condiciones de temperaturas de 537 a 600°C y presiones entre 5,7 a 7,8 Kbar para los esquistos de granate y biotita, y 600 a 630°C con 7 Kbar para los paragneis de granate, biotita y rutilo, pertenecientes a grado metamórfico medio en facies de anfibolita.



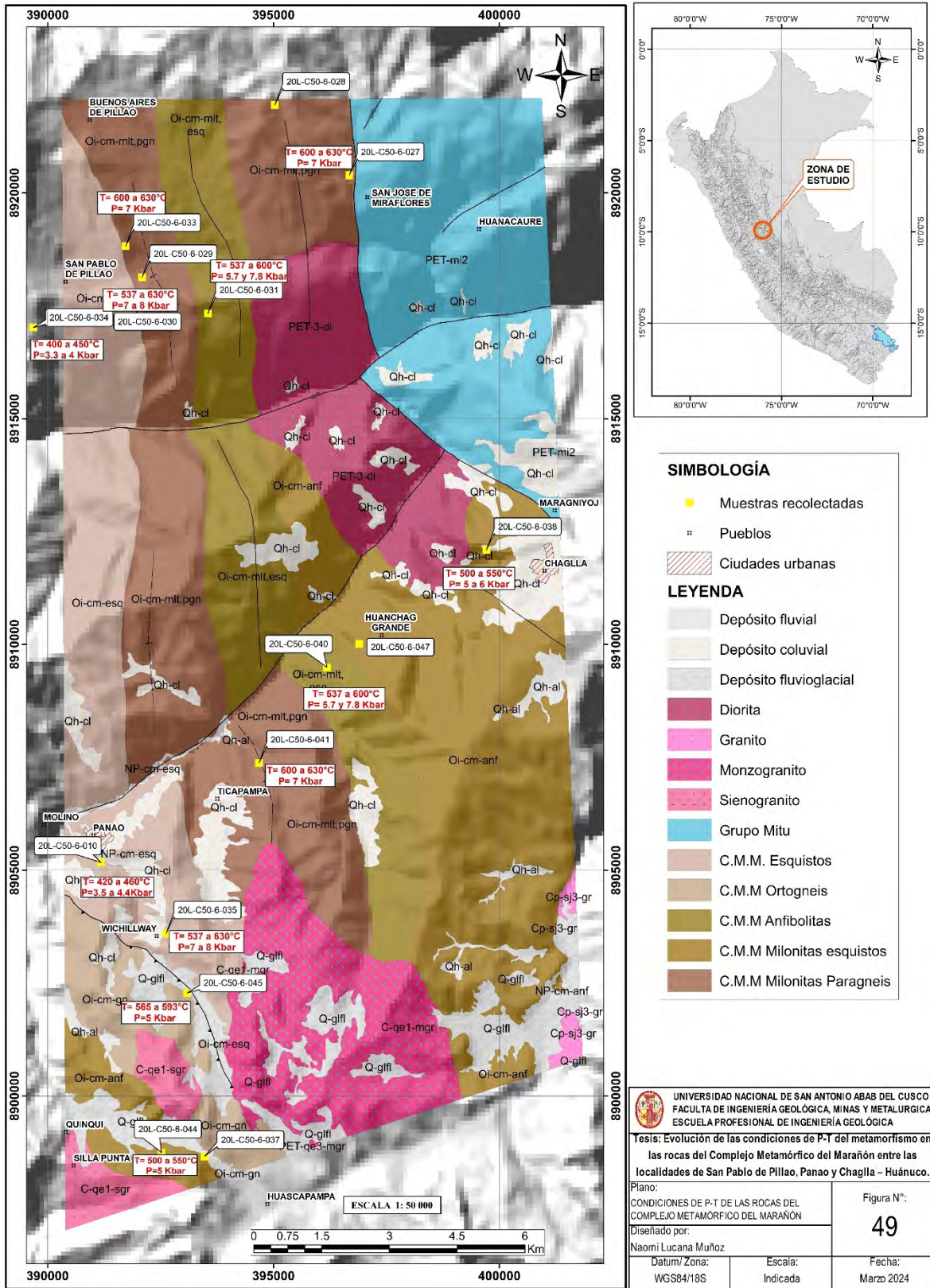
6.4. Evolución de las condiciones de P-T del área de estudio

Cardona (2006) pudo establecer, para un esquistos de granate y biotita, una trayectoria metamórfica de carácter horario que implicaba un engrosamiento cortical inicial seguido de una descompresión, adelgazamiento de la corteza y disminución de temperatura. La evolución metamórfica descrita por Cardona (2006) se asemeja a la trayectoria P-T-t de las anfibolitas de Chaglla, que refleja una historia tectónica similar, donde inicialmente, las rocas fueron sometidas a presiones y temperaturas de bajas a intermedias, situándose en la facies de transición de esquistos verdes a anfibolita y posteriormente fueron exhumadas y enfriadas, registrando una disminución progresiva de las condiciones P-T hasta llegar a facies de esquistos verdes (Figura 48).

Con respecto al grado metamórfico, Cardona (2006) indica que el grado metamórfico es creciente hacia el este desde la localidad de Huánuco; tomando en cuenta las condiciones de temperatura y presión estimadas para el metamorfismo regional las rocas del área de estudio, se puede observar que estas incrementan desde la localidad de Panao hacia el este hasta llegar a los paragneis de Buenos Aires de Pillao y Ticapampa y disminuye hasta llegar a las anfibolitas de Chaglla (Figura 49). Los paragneis y esquistos de Buenos Aires de Pillao y Ticapampa sufrieron posteriormente un metamorfismo local de contacto dúctil de alta temperatura la cual formó milonitas de estas rocas.



Figura 49. Mapa de condiciones de P-T para el área de estudio .



Nota: Para más detalle ver anexo 6.



CONCLUSIONES

1. Las anfibolitas de Chaglla son las rocas donde se determinó la evolución de las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo. El pico metamórfico M1-t1 caracterizado por la asociación Qtz-Pl-Ep-Hbl en condiciones de 500-550°C y 5-6 Kbar en facies en transición de esquistos verdes a anfibolita, seguida por un metamorfismo retrógrado M2-t2 post pico, con asociación mineral característica de Tr-Chl-Act-Ep-Pl en condiciones de 400- 450°C y 3.3- 4 Kbar en facies de esquistos verdes. De las rocas estudiadas, muchas presentan un reemplazo pseudomórfico de clorita por biotita lo que indicaría un metamorfismo retrógrado.
2. Las asociaciones minerales de las rocas metamórficas producto del metamorfismo regional presentan las siguientes condiciones de temperatura y presión del pico metamórfico: A) las rocas de bajo grado metamórfico con 420 a 460°C y 3.5 a 4.4 Kbar en esquistos de biotita y 400 a 450 ° C con 3.3 a 4 Kbar en esquistos de tremolita y clorita. B) Las rocas en transición de bajo a medio grado metamórfico con 500 a 550 °C y 5 a 6 Kbar en anfibolitas. C) Las rocas de medio grado metamórfico con 565-593°C y 5Kbar en ortogneis, 520 a 630°C y 7 a 8 Kbar en esquistos de biotita y rutilo, 537-600°C y 5.7 a 7.8 Kbar en esquistos de biotita y granate, y 520 a 630°C con 7 a 8 Kbar en los paragneis. Además, en las anfibolitas de Chaglla se identificó una segunda asociación mineral del metamorfismo retrógrado que indica temperaturas de 400 a 450 ° C y una presión de 3.3 a 4 Kbar.
3. En las rocas producto del metamorfismo regional, se han determinado las siguientes facies y grados metamórficos: A) Esquistos de biotita y esquistos de tremolita-clorita, pertenecientes a facies de esquistos verdes (bajo grado metamórfico). B) Anfibolitas de biotita-hornblenda, y anfibolitas de hornblenda-tremolita, ambas en facies de transición de esquistos verdes a anfibolita (transición de bajo a medio grado metamórfico). C) Ortogneis, esquistos de biotita-rutilo, y esquistos de biotita-granate-rutilo pertenecientes en facies de



anfíbolita (medio grado metamórfico). En tanto los protolitos de esquistos de biotita-rutilo y paragneis de biotita-granate-rutilo de las milonitas también pertenecen a facies de anfíbolita (medio grado metamórfico), mientras que la milonitización producto del metamorfismo dinámico local de estos es de alto grado metamórfico.

4. Las anfíbolitas de Chaglla fueron las únicas rocas que permitieron trazar una trayectoria P-T-t, siguiendo una trayectoria horaria M1-t1 y M2-t2 característica de áreas de cabalgamientos y zonas de subducción en M1-t1 y una posterior descompresión, enfriamiento e hidratación de las fases minerales anhidras en M2-t2.



RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios geocronológicos de cristalización y metamorfismo para conocer la edad de los protolitos y del evento metamórfico.
2. Efectuar un estudio de geotermobarometría, para establecer con mayor precisión las condiciones de presión y temperatura del pico metamórfico para cada una de las unidades identificadas en la zona de estudio, permitiendo reconstruir la evolución térmica y tectónica de la región.
3. Realizar un estudio y análisis macro-microestructural a detalle que facilite correlacionar las etapas deformacionales en las diferentes etapas metamórficas registradas en las rocas de la zona de estudio.



BIBLIOGRAFÍA

- Barrow, G. (1893). *On an Intrusion of Muscovite-biotite Gneiss in the South-eastern Highlands of Scotland, and its accompanying Metamorphism. Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 49(1-4), 330-358. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1893.049.01-04.52>
- Bucher, K., & Frey, M. (1994). *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer, 318.
- Bucher, K., & Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. En *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74169-5>.
- Cardona, A.; Cordani, U.; Galdos, J.; Onoe, A. & Sánchez, A. (2004). *Petrología y geocronología K-Ar del complejo Marañón (Región Huánuco-Tingo María), Cordillera Oriental de los Andes Peruanos: consideraciones tectónicas preliminares*. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 179-180.
- Cardona, A. (2006). *Reconhecimento da evolução tectônica da proto-margem andina do centro-norte peruano, baseada em dados geoquímicos e isotópicos do embasamento da Cordilheira Oriental na região de Huánuco-La Unión*. [Tesis de Doctorado, Universidad de São Paulo].
- Castro, A. (2015). *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. Ediciones Paraninfo.
- Dalmayrac, B., Laubacher, G., Marocco, R. & Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1988). *Caracteres generales de la evolución geológica de los Andes Peruanos*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico., INGEMMET. Boletín. Serie D: Estudios Especiales, n.12.
- De la Cruz, J., Valencia, M., & Boulanger, E. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Aguaytía, Panao y Pozuzo. Hoja: 19-I, 20-I, 21-I – [Boletín A 80]*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET.



- Eskola, P. (1920). *The mineral facies of rocks*.
https://foreninger.uio.no/ngf/ngt/pdfs/NGT_06_1&2_143-194.pdf
- Fettes, D., & Desmons, J. (2011). *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. IUGS.
- Gonzales, P., & Cábana, M. (2006). *Mineralogía y trayectoria textural de anfibolitas de la Sierra de Bachicha, Sistema de Tandilia*. Buenos Aires.
- González, P., & Marcos, P. (2023). *El calor y las rocas metamórficas*. Universidad de Río Negro.
- Guereschi, A., & Martino, R. (2003). *Textural path of metamorphic rocks from central portion of the eastern side of Sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58(1).
- Liou, J., Kuniyoshi, S., & Ito, K. (1974). *Experimental studies of the phase relations between greenschist and amphibolite in a basaltic system*. *American Journal of Science*, 274(6), 613-632. <https://doi.org/10.2475/AJS.274.6.613>
- Luvizotto, G., & Zack, T. (2009). *Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression: An example from the Ivrea-Verbano Zone*. *Chemical Geology*, 261(3-4). <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.07.023>
- Luvizotto, G., Zack, T., Triebold, S., & Von Eynatten, H. (2009). *Rutile occurrence and trace element behavior in medium-grade metasedimentary rocks: Example from the Erzgebirge, Germany*. *Mineralogy and Petrology*, 97(3-4). <https://doi.org/10.1007/s00710-009-0092-z>
- Moody, J., Meyer, D., & Jenkins, J. (1983). *Experimental characterization of the greenschist/amphibolite boundary in mafic systems*. *American Journal of Science*, 283(1), 48-92. <https://doi.org/10.2475/AJS.283.1.48>
- Owona, S., Ondo, J., & Ekodeck, G. (2013). *Evidence of Quartz, Feldspar and Amphibole Crystal Plastic Deformations in the Paleoproterozoic Nyong Complex Shear Zones*




- Under Amphibolite to Granulite Conditions (West Central African Fold Belt, SW Cameroon).* Journal of Geography and Geology, 5(3).
<https://doi.org/10.5539/jgg.v5n3p186>
- Passchier, C., & Trouw, R. (2005). *Microtectonics*. Springer, 1-366. <https://doi.org/10.1007/3-540-29359-0/COVER>
- Patiño, C. (2021). *Caracterización petrográfica y litogeoquímica de rocas metamórficas entre los paralelos 4° 52' S Y 4° 59' S (Dominio Olmos - Loja) en el norte del Perú*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<http://hdl.handle.net/20.500.12773/13519>.
- Robertson, S. (1999). *BGS Rock Classification Scheme Volume 2*. British Geological Survey, 1.
- Soaña, J. (2009). *Estudio petrográfico y geoquímico del Complejo Marañón en los departamentos de Amazonas y La Libertad*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
- Spear, F. (1993). *Metamorphic phase equilibria and PTt paths*. Mineralogical Society of America Monograph, 1, xxii-I-799.
- Valdielly S. et al. (2020). *Metamorphic evolution of metasedimentary rocks of the Feira Nova region: Tectonic implications for the Brasiliano Orogeny in eastern Borborema Province, Northeast Brazil*, Journal of South American Earth Sciences.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102590>
- Yardley, B., & Warren, C. (2021). *An Introduction to Metamorphic Petrology*. Springer.
<https://doi.org/10.1017/9781108659550>

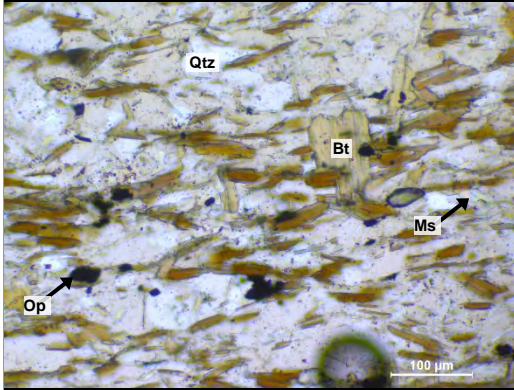
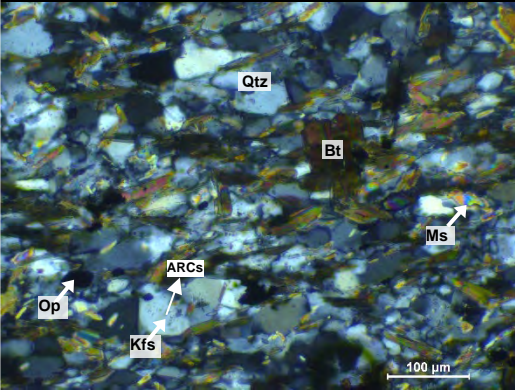


ANEXOS


Anexo 1. Descripción microscópica de muestras.

Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-010	8905175	391176	18s	Panao	
Clasificación de la roca					
ESQUISTO DE BIOTITA					
Textura principal					
Granolepidoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica compacta de grano fino (<0.1mm), de color gris oscura, con estructura de tipo esquistosa, con textura granolepidoblástica conformada por cuarzo, biotita y moscovita; así mismo presenta pirita de forma diseminada.					
					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura granolepidoblástica, con una fábrica planar definida por orientación preferencial de biotitas y moscovita con bandas de cuarzo con extinción ondulante que indicaría una deformación plástica debido a esfuerzos tectónicos . Así mismo, presenta minerales opacos diseminados en toda la roca.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA					
				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Biotita: Se encuentra en un alto porcentaje en la muestra, consiste en micas alargadas de tamaño de grano fino subdurales, con un relieve moderado, una coloración de marrón oscuro, y también marrón amarillento, y colores de interferencia de segundo a tercer orden	≤ 0.10	30	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales, con habito laminar alargado, y con una granulometría fina.	≤ 0.02	15	
		Feldespatos potásico: Blastos de formas subhedrales y hábito prismático, levemente alterados a arcillas (aproximadamente 3%).	≤ 0.06	20	
		Cuarzo: Blastos con formas anhedrales, irregulares, con textura granoblástica y una granulometría fina <0.1 mm.	≤ 0.06	30	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, presentes en formas subhedrales.	-	Traza	
Secundarios	Sericita: Agregados microescamosos, se presentan remplazando al feldespatos potásico generalmente el remplazamiento es leve (aproximadamente 5%).	-	Traza		
Metamorfismo		Tipo	Regional		
		Grado	Bajo		
		Facie	Esquistos verdes		

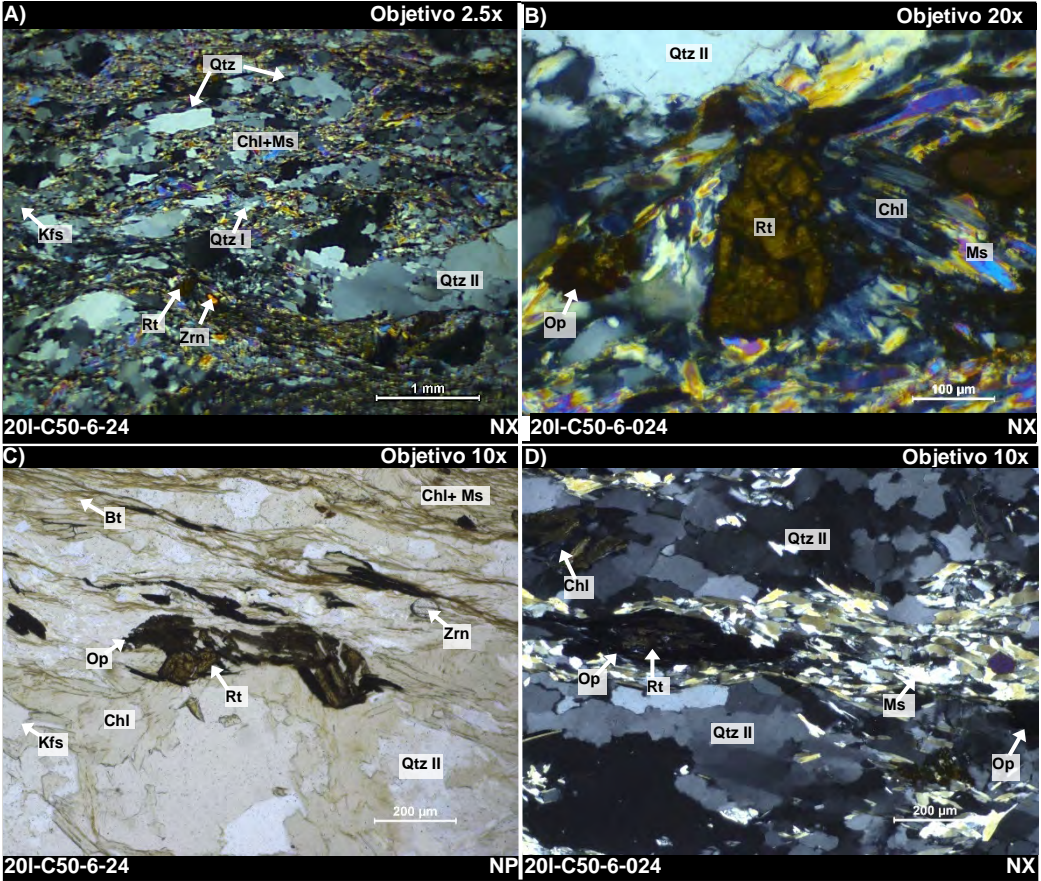


	Protolito	Sedimento pelítico
Alteraciones:		
Sericitización incipiente		
Asociaciones minerales:		
Bt-Ms-Qtz-Op-Kfs		
Paragénesis mineral:		
Bt-Ms-Qtz-Op-Kfs		
Observaciones:		
Sin observaciones		
Fotomicrografías		
A) Objetivo 20x	B) Objetivo 20x	
		
20I-C50-6-10	NP 20I-C50-6-010	NX
<p>20I-C50-6-10: Nícoles Paralelos (NP), Nícoles Cruzados (NX); A) Se aprecia textura granolepidoblástica conformado por blastos de cuarzo (Qtz), con micas de biotita (Bt) y moscovita (Ms) ocupando intersticios. B) Vista en nícoles cruzados de la microfotografía A y se logra diferenciar cristales de feldespato potásico (Kfs) alterados levemente a arcillas (ARCs).</p>		




Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-024	8917085	391861	18s	Vista Alegre	
Clasificación de la roca					
ESQUISTO DE BIOTITA Y RUTILO					
Textura principal					
Porfiroblástica y granolepidoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica compacta, de color gris, de grano medio (≤ 1.50 mm), con textura porfiroblástica y granolepidoblástica conformada por porfiroblastos de cuarzo envueltos por micas de biotita y moscovita; así mismo presenta pirita en lentes siguiendo la esquistosidad.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura porfiroblástica y alternancia de granoblástica y lepidoblástica, con una fábrica planar definida por orientación preferencial de biotitas y moscovita con porfiroblastos de cuarzo I y rutilo. Así mismo, presenta minerales opacos asociados al rutilo.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
}BLASTOS	Esenciales	Biotita: Se encuentra en un porcentaje menor en la muestra, consiste en micas de grano fino alargadas subdurales, con un relieve moderado, una coloración de marrón oscuro y colores de interferencia de segundo a tercer orden, la biotita se encuentra marcado la esquistosidad juntamente con la clorita y moscovita.	≤ 0.01	21	
		Cuarzo: Blastos de formas subhedrales y anhedrales de habito prismático hexagonal, presenta extinción ondulante, se encuentra en 2 tamaños en forma de porfiroblastos (Qtz II) (≤ 1.50 mm) y otros más pequeñas (Qtz I) que se hallan junto con las micas a forma de matriz entre los porfiroblastos (≤ 0.20). No presenta inclusiones ni alteración.	≤ 1.50	31	
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales, de habito tabular ocurren junto al cuarzo. Algunos se encuentran microfracturados.	≤ 0.20	15	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales, con habito laminar alargado, se encuentra marcado la esquistosidad de la muestra.	≤ 0.02	20	
		Rutilo: Se observa como porfiroblastos de color marrón, con color de interferencia del mismo color del mineral, presenta un relieve muy alto, anhedral. En su parte externa de este cristal destaca una corona de reacción de minerales opacos.	≤ 0.10	8	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, presentes en formas alargadas que siguen la esquistosidad. Generalmente están asociadas al rutilo.	≤ 0.20	5	
Circón: Blastos de aspecto granular que ocurren como mineral accesorio en la muestra.		-	Traza		



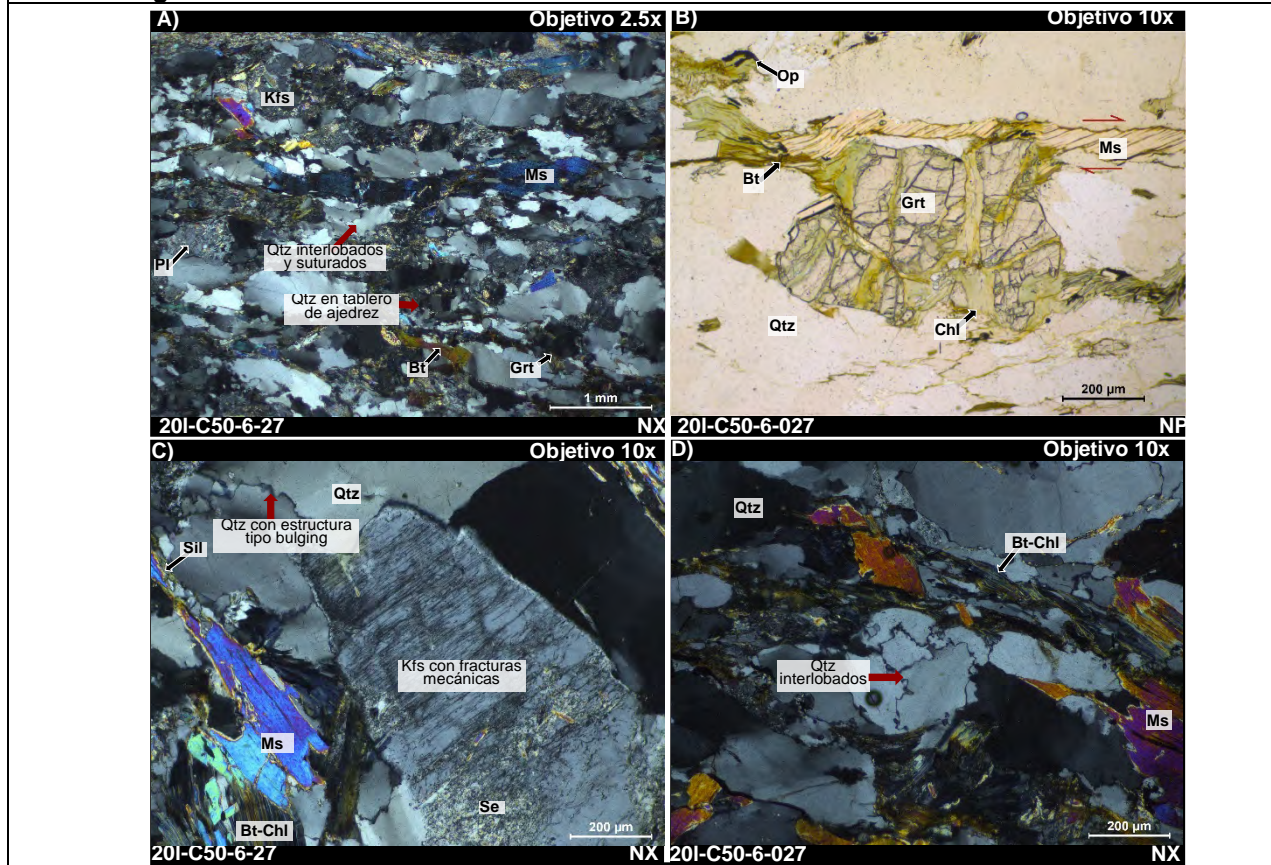
	Secundarios	Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con colores de interferencia de segundo a tercer orden azulados, subdurales, con habito laminar alargado, y con una granulometría fina, se encuentra marcado foliación principal (S1) de la muestra.	-	Traza
Metamorfismo	Tipo	Regional		
	Grado	Alto		
	Facie	Anfibolita		
	Protolito	Volcánica		
Alteraciones Cloritización media y oxidación incipiente.				
Asociaciones minerales (1) Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs Rt-Op (2) Op-Chl-Qtz-Ser				
Paragénesis mineral Bt-Ms-Qtz-Kfs-Rt-Op-Chl-Ser				
Fotomicrografías				
				
<p>20I-C50-6-24: Nicoses Cruzados (Nx), Nicoses Paralelos (Np); A) Muestra la textura porfiroblástica y granolepidoblástica, se observa porfiroblastos de cuarzo (Qtz II) envueltos en una matriz conformado por cuarzo (Qtz I), micas de biotita (Bt), moscovita (Ms) y clorita (Chl). B) Se observa porfiroblastos de rutilo (Rt) envueltos de micas de clorita (Chl) y moscovita (Ms). C) Se observa porfiroblastos de rutilo (Rt) como lentes asociados a minerales opacos (Op) alrededor del rutilo envueltos de micas de clorita (Chl) y moscovita (Ms). D) Muestra donde se muestra el dominio micáceo y el dominio cuarzo feldespático.</p>				



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-027	8920389	396679	18s	Llincay	
Clasificación de la roca					
MILONITA DE PARAGNEIS					
Texturas principales					
Porfiroclástica					
Tipo de metamorfismo					
Dinámico					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color gris, con estructura de tipo milonítica, se observa bandas de cuarzo y presenta foliación oblicua de grano medio, está conformada por porfiroclastos de cuarzo y granate fragmentados en una matriz constituida por cuarzo micas de biotita, clorita y moscovita.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura milonítica y con bandas de cuarzo, presenta porfiroclastos de granate fragmentados, con foliación oblicua, se observan clastos de cuarzoes interlobados, suturados y estructura en tablero de ajedrez, biotitas y moscovita deformadas.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Biotita: Se encuentran de color marrón, se exhiben a modo de blastos laminares, formando agregados bandeados intercalados con las bandas lenticulares de cuarzo. Se encuentran alterados a cloritas.	≤ 1.00	15	
		Granate: Se muestra a modo de porfiroclastos fragmentados con formas anhedrales. Se encuentran juntamente con cuarzo, biotita y moscovita y entre las fracturas se puede observar el desarrollo de clorita.	≤ 0.50	10	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales, deformados.	≤ 1.2	25	
		Cuarzo: Blastos con formas anhedrales, irregulares, se aprecian formando bandas con feldespatos potásicos, con textura granoblástica y una granulometría media entre 0.15 a 1.2 mm, se encuentran deformados presentando estructuras de tablero de ajedrez, tipo bulging, de forma interlobada y suturada.	≤ 1.20	25	
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales y hábito prismático, moderadamente alterados a sericita, algunos presentan fracturas mecánicas.	≤ 0.60	10	
	Plagioclasa: Blastos de formas subdurales y anhedrales, maclados. Algunos presentan alteración de sericita.	≤ 0.25	10		
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, se presentan de forma diseminada.	≤ 0.10	5	
	Secundarios	Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, subdurales, con hábito laminar alargado, y con una granulometría fina, esta se presenta en pseudomorfismo de la biotita y entre las fracturas de los granates.	-	Traza	
		Sillimanita (Fibrolita): Agregados fibrosos, se presentan reemplazando a las moscovitas.	-	Traza	



		Sericita: Agregados microescamosos, se presentan reemplazando Al feldespato potásico generalmente el reemplazamiento es moderado.	-	Traza
Metamorfismo	Tipo	Regional y Dinámico		
	Grado	Alto		
	Facie	Anfibolita alta		
	Protolito	Metamórfico		
Alteraciones				
Cloritización media y sericitización media				
Asociaciones minerales				
(1) Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op-Ms				
(2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs-Pl-Sil				
Paragénesis mineral				
Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op- Chl-Ser-Ms-Sil				
Fotomicrografías				



20I-C50-6-27: Nicos Cruzados (Nx), Nicos Paralelos (Np); A) Muestra la textura milonítica con cintas de cuarzo (Qtz) y foliación oblicua, se observa cuarzo (Qtz) interlobados y suturados, feldespato potásico (Kfs) y plagioclasa (Pl) con bandas de moscovita (Ms) deformadas. B) Se observa porfiroclastos de granate (Grt) fragmentados producto de la deformación milonítica en contacto con biotita (Bt) y siendo alterada a clorita (Chl). C) Se observa cristales de moscovita (Ms), clorita en pseudomorfismo de biotita (Bt-Chl) y feldespato potásico (Kfs) con fracturas mecánicas. D) Se observa a detalle cuarzo (Qtz) interlobados y de tipo bulging conjuntamente moscovita (Ms) y clorita en pseudomorfismo de biotita (Bt-Chl).



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad
	Norte	Este	Zona	
20L-C50-6-028	8921945	395029	18s	Chinchavito
Clasificación de la roca				
MILONITA DE PARAGNEIS				
Texturas principales				
Porfiroclástica				
Tipo de metamorfismo				
Dinámico				
Descripción Macroscópica				
Roca metamórfica de color beige rojizo, con estructura de tipo milonita, con textura porfiroclástica conformada principalmente por clastos de granate fragmentado. Se observan blastos de cuarzo, biotita, moscovita y cloritas; presenta óxidos de hierro.				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
Roca metamórfica con porfiroclastos de granate fragmentados, los cuales se encuentran alterados a óxido de hierro y se observa clorita relleno de las fracturas; también se observan blastos de feldespato potásico con una ligera alteración de arcillas y sericita, así mismo, presenta bandas de biotita y moscovita orientados, se encuentra diseminada la presencia de minerales opacos.				
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				
			Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Granate: Se muestra a modo de porfiroclastos fragmentados con formas anhedrales, se encuentran en contacto con biotita y moscovita.	≤ 0.20	10
		Biotita: Se encuentran de color marrón, se exhiben a modo de blastos laminares. Se encuentran alterados a cloritas.	≤ 0.20	10
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales y hábito prismático, leve a moderadamente alterados a sericita.	≤ 0.40	20
		Cuarzo: Blastos con formas anhedrales, irregulares, se aprecian formando bandas con feldespatos potásicos, con textura granoblástica y una granulometría media (entre 0.2 a 1.5 mm). Se observan suturados y en forma interlobada.	≤ 1.50	28
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales.	≤ 1.20	17
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, alargados, se presentan alineados a la esquistosidad.	≤ 0.10	Traza
	Secundarios	Sericita: Agregados microescamosos, se presentan reemplazando al feldespato potásico generalmente el reemplazamiento es leve a moderado.	-	Traza
		Arcillas: Agregados criptocristalinos, se encuentran como producto de alteración de los feldespatos potásicos.	-	Traza
		Óxidos de Hierro: agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración del granate entre sus fracturas y de la biotita.	-	Traza
		Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, con granulometría fina, esta se presenta en pseudomorfismo de la biotita por alteración de la misma.	-	15



Metamorfismo	Tipo	Regional y Dinámico
	Grado	Alto
	Facie	Anfibolita alta
	Protolito	Metamórfico

Alteraciones

Cloritización leve y sericitización media

Asociaciones minerales

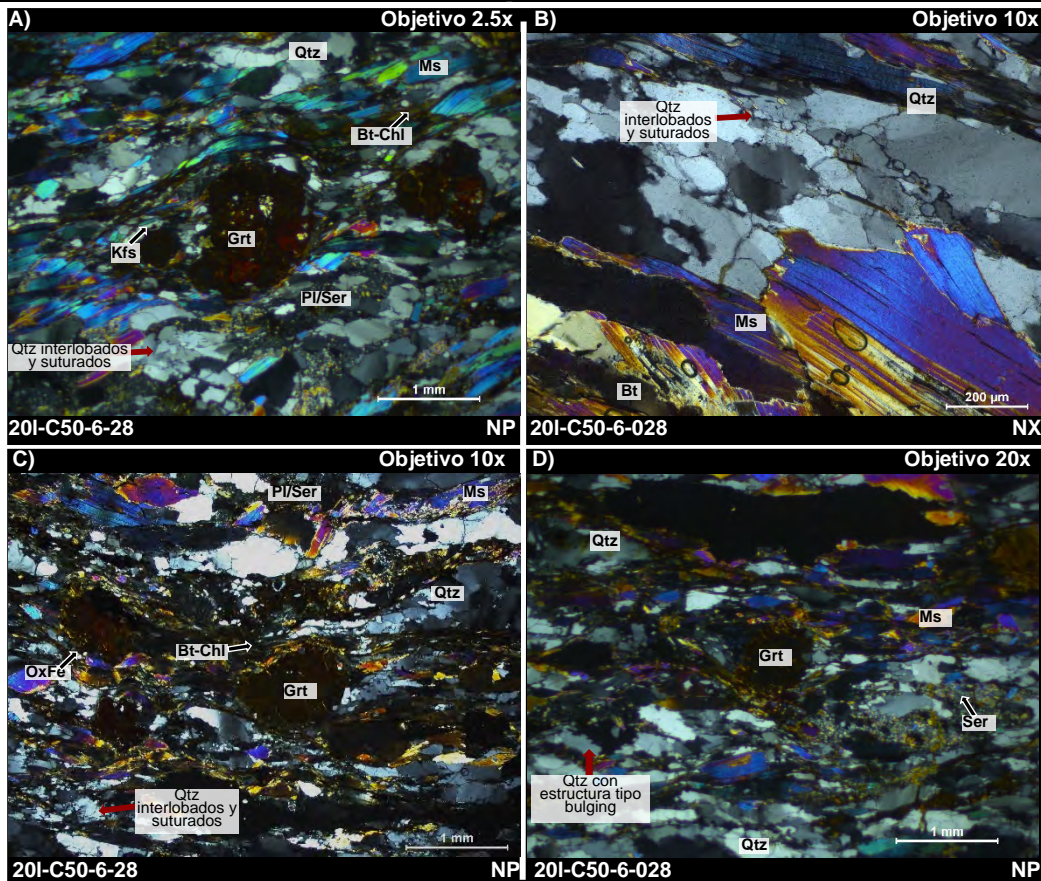
(1) Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op-Ms

(2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs-Pl

Paragénesis mineral

Qtz-Kfs-Pl-Bt-Grt-Op- Chl-Ser-Ms

Fotomicrografías



20I-C50-6-28: Nícoles Cruzados (Nx); A) Muestra la textura milonítica con cintas de cuarzo (Qtz) y foliación oblicua, se observa cuarzo (Qtz) interlobados y suturados, feldespato potásico (Kfs) y plagioclasa (Pl) alteradas a sericita (Ser) con bandas de moscovita (Ms) y biotita (Bt) deformadas. B) Se observa a detalle las estructuras de cuarzo (Qtz) interlobados y suturados. C) Se observan blastos de moscovita (Ms), clorita en pseudomorfismo de biotita (Bt-Chl) y cuarzos (Qtz) interlobados y suturados. D) Se observa blastos de cuarzo (Qtz) con extinción ondulante y estructura tipo bulging, juntamente con moscovita (Ms) y porfiroclastos de granate (Grt).




Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad
	Norte	Este	Zona	
20L-C50-6-029	8918132	392091	18s	San Pablo de Pillao
Clasificación de la roca				
MILONITA DE PARAGNEIS				
Texturas principales				
Milonítica				
Tipo de metamorfismo				
Dinámico				
Descripción Macroscópica				
Roca metamórfica compacta con textura milonítica alterada, de color beige rojizo, con estructura foliada, conformada por porfiroclastos de granate fragmentados, blastos de cuarzo, biotita, moscovita y clorita, presenta óxidos de hierro, altamente alterada.				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
Roca metamórfica con porfiroclastos de granate fragmentados, los cuales se encuentran alterados a óxido de hierro, presenta blastos de feldespato potásico con alteración a arcillas; así mismo, presenta bandas de biotita y moscovita orientados y deformados, se observan cuarzos con puntos triples y en forma interlobada y suturados. Los minerales opacos se encuentran en forma diseminada.				
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA			Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Granate: Se muestra a modo de porfiroclastos con formas anhedrales, fragmentados y alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.60	12
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales y hábito prismático, moderadamente alterados a sericita.	≤ 0.20	14
		Cuarzo: Blastos con formas anhedrales, irregulares, se aprecian formando bandas con feldespatos potásicos. Se observan suturados, en forma interlobada y en algunas zonas con puntos triples.	≤ 0.20	20
		Biotita: Se encuentran de color marrón amarillentos, se exhiben a modo de blastos laminares. Algunos se encuentran alterados a cloritas.	≤ 0.10	20
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales.	≤ 0.25	20
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, alargados, se presentan alineados a la esquistosidad.	≤ 0.10	Traza
	Secundarios	Óxido de hierro: Agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración del granate.	-	Traza
		Sericita: Agregados microescamosos, se presentan reemplazando al feldespato potásico generalmente el reemplazamiento es moderado.	-	Traza
		Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales, con habito laminar alargado, y con una granulometría fina, esta se presenta en pseudomorfismo de la biotita por alteración de la misma.	-	14



Metamorfismo	Tipo	Regional y Dinámico
	Grado	Alto
	Facie	Anfibolita alta
	Protolito	Metamórfico
Alteraciones Cloritización media y sericitización media		
Asociaciones minerales (1) Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms (2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs		
Paragénesis mineral Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Chl-Ser-Ms		
Fotomicrografías		
<p>20I-C50-6-29: Nicoles Cruzados (Nx); A) Muestra la textura milonítica con cintas de cuarzo (Qtz) y foliación oblicua, se observa cuarzo (Qtz) interlobados y suturados y feldespato potásico (Kfs) alteradas a sericita (Ser) con bandas de moscovita (Ms) y biotita (Bt) deformadas, así como porfiroclastos de granate (Grt) fragmentados y alterados a óxido de hierro (OxFe). B) Se observa a detalle blastos de cuarzo (Qtz) en puntos triples, juntamente con moscovita (Ms) y porfiroclastos de granate (Grt) y clorita en pseudomorfismo de biotita (Bt-Chl).</p>		

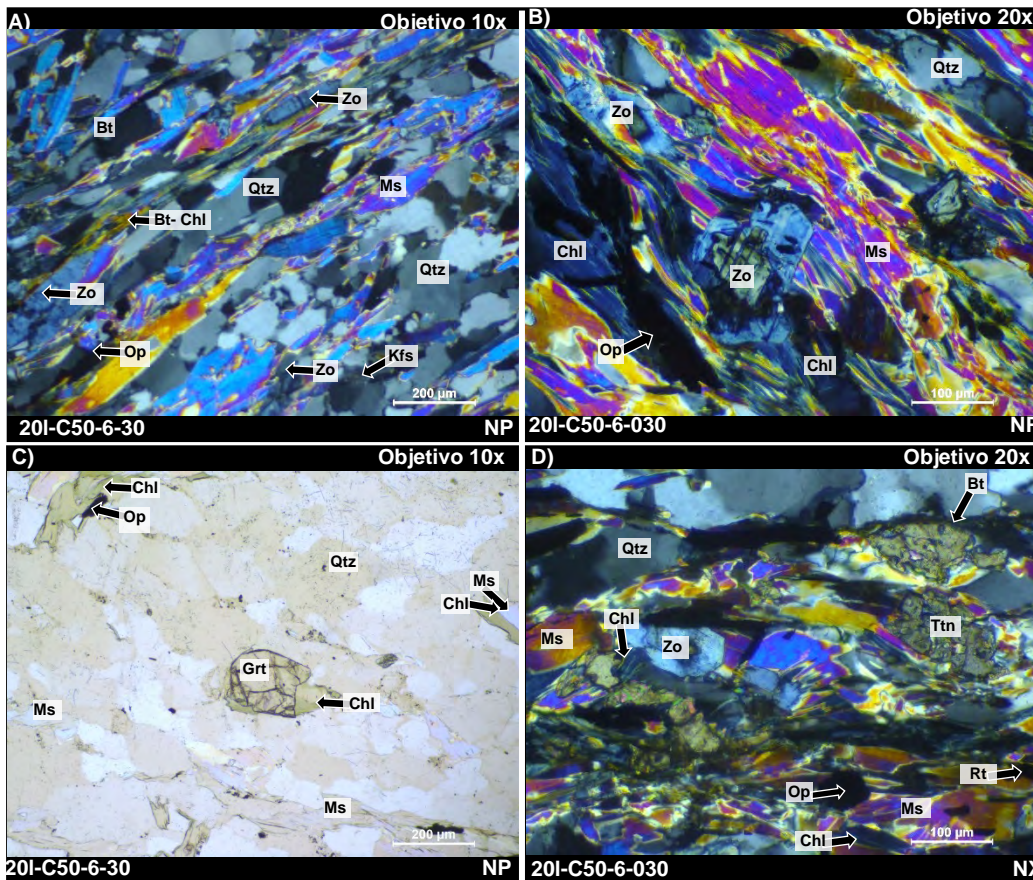


Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-030	8917213	392067	18s	Vista Alegre	
Clasificación de la roca					
ESQUISTO DE GRANATE Y BIOTITA					
Texturas principales					
Porfirolepidoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color gris blanquecino, con estructura de tipo milonítica, con textura porfiroblástica, conformada principalmente por cuarzo, biotita, moscovita, epidota y algunos granates.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con blastos de feldespato potásico, cuarzo y granate; así mismo se observan porfiroblastos de epidota rodeada por bandas de clorita, biotita, rutilo y moscovita orientados, los granates se encuentran en el dominio cuarzo feldespático. En la sección también se encuentra blastos de titanita en forma de trazas.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño o (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Biotita: Blastos de formas anhedrales a subhedrales y hábito laminar, orientados según la foliación. Se encuentran alterados a clorita.	≤ 0.50	15	
		Granate: Porfiroblastos de formas subhedrales a euhedrales y hábito isométrico, que se ubican en las bandas de cuarzo feldespáticas.	≤ 0.20	10	
		Epidota (Zoisita): Cristales de formas subhedrales y euhedrales de hábito prismático, con color de interferencia gris azulados y se encuentran asociados a la biotita y moscovita.	≤ 0.25	15	
		Cuarzo: Blastos de formas anhedrales y hábito granular, presenta extinción ondulante. Forman bandas granoblásticas lenticulares discontinuas con diseminaciones de minerales opacos.	≤ 0.30	22	
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales y hábito prismático, con maclas de albita y carlsbad, débilmente alterados a sericita. Se ubican en las bandas juntamente con cuarzo.	≤ 0.20	10	
		Moscovita: Blastos de formas subhedrales y hábito laminar, orientados siguiendo la esquistosidad, constituyendo bandas finas, que se abren paso entre las bandas de cuarzo-feldespatos, y englobando algunos porfiroblastos.	≤ 0.25	18	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, presentes en formas alargadas que siguen la esquistosidad.	≤ 0.08	Traza	
Rutilo: Se encuentra en la muestra como mineral menor, se observa como blastos de color marrón, con color de interferencia del mismo color del mineral, presenta un relieve muy alto, anhedral, se encuentran asociados a los minerales opacos y óxidos de hierro.		≤ 0.15	Traza		




		Titanita: Cristales de formas anhedrales, de hábito prismáticos, presentan birrefringencia.	≤ 0.15	Traza
		Circón: Blastos de aspecto granular que ocurren como mineral accesorio en la muestra.	-	Traza
	Secundarios	Clorita: Agregados micáceos de color verdoso, se encuentra como reemplazo pseudomórfico por biotita.	-	10
Metamorfismo	Tipo	Regional y Dinámico		
	Grado	Alto		
	Facies	Anfibolita		
	Protolito	Pelítico		
Alteraciones Cloritización incipiente				
Asociaciones minerales (1) Bt-Grt-Qtz-Ms-Op-Zo-Ttn-Kfs (2) Chl-Zo-Kfs-Qtz-Ms				
Paragénesis mineral Bt- Grt-Qtz-Ms-Op-Zo-Ttn-Kfs-Rt-Chl-Zo-Kfs				

Fotomicrografías



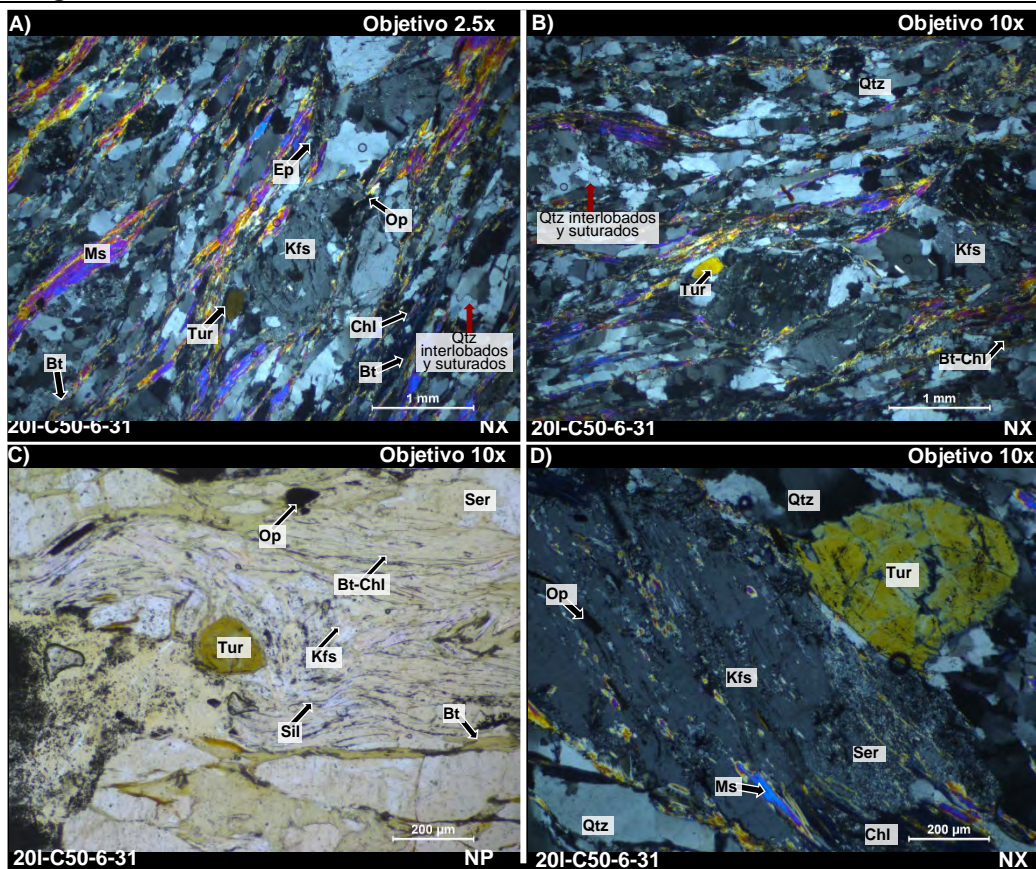
20I-C50-6-30: Nicles Cruzados (Nx), Nicles Paralelos (Np); A) Muestra la textura porfiroclástica con matriz granolepidoblástica, se observa dominios de cuarzo (Qtz), feldespato potásico (Kfs) y plagioclasa (Pl) con dominio micáceo de moscovita (Ms) biotita (Bt) y clorita (Chl) con porfiroclastos de epidota (Ep). B) Se observa porfiroclastos de zoisita (Zo) rodeados por moscovita (Ms) y clorita (Chl). C) Se observan porfiroclastos de granate (Grt) levemente fracturados en el dominio cuarzo feldespático juntamente con micas de clorita (Chl). D) Se observa porfiroclastos de zoisita (Zo) y titanita (Ttn) rodeadas por moscovita (Ms), biotita (Bt) y clorita (Chl).



código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-031	8917330	393547	18s	Vista Alegre	
Clasificación de la roca					
MILONITA DE ESQUISTO					
Texturas principales					
Milonítica					
Tipo de metamorfismo					
Dinámico					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color gris blanquecino, con estructura de tipo milonítica, presenta bandas de cuarzo y feldespato, presenta foliación oblicua, está compuesta de porfiroclastos de feldespatos potásicos fragmentados, blastos de biotita, clorita y moscovita.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con porfiroclastos de feldespato potásico, cuarzo y turmalina fragmentadas juntamente con bandas de clorita, biotita y moscovita, los minerales opacos se encuentran en el dominio cuarzo feldespático. También se encuentra blastos de granates y circones en forma de trazas.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Biotita: Blastos de formas subhedrales a euhedrales y hábito laminar y de grano fino, orientados según la foliación. Se encuentran alterados a clorita.	≤ 0.20	15	
		Turmalina: Porfiroclastos de formas subhedrales y hábito prismático, se muestra su sección basal, con ubicación aleatoria en las bandas micáceas y cuarzo feldespáticas.	≤ 0.35	15	
		Epidota: Cristales de formas anhedrales, presentan birrefringencia, tienen lugar por reemplazamiento de cloritas, se encuentran asociados a las bandas de clorita y moscovita.	≤ 0.10	10	
		Feldespato potásico: Porfiroclastos y blastos de formas anhedrales a subhedrales y hábito prismático, con macla de carlsbad. Albergan inclusiones muy finas de moscovita y, en menor proporción, de biotita y cuarzo.	≤ 0.80	15	
		Sillimanita (Fibrolita): Agregados fibrosos subhedrales de hábito acicular y/o primas alargadas, que se encuentran intercrecidos con el feldespato potásico.	≤ 0.15	5	
		Cuarzo: Blastos de formas anhedrales y hábito prismático, con extinción ondulante y frecuente contacto suturado entre ellos. Se encuentra junto a feldespatos.	≤ 0.40	22	
	Moscovita: Blastos de formas subhedrales a euhedrales y hábito laminar, orientados según la foliación, constituyendo bandas finas juntamente con la biotita y clorita, que se abren paso entre las bandas de cuarzo-feldespatos, y englobando algunos porfiroblastos.	≤ 0.25	18		
Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, se presentan de forma alargada y se encuentran presentes siguiendo la dirección de foliación.	≤ 0.10	Traza		
Secundarios	Clorita: Agregados micáceos de color verdoso, se encuentra como reemplazo pseudomórfico por biotita.	-	Traza		




		Sericita: Agregados microescamosos, se presentan remplazando al feldespato potásico, el remplazamiento es moderado.	-	Traza
Metamorfismo	Tipo	Regional y Dinámico		
	Grado	Alto		
	Facies	Anfibolita		
	Protolito	Esquisto		
Alteraciones				
Cloritización media y Sericitización media				
Asociaciones minerales				
(1) Qtz-Kfs-Bt-Tur-Op-Ms				
(2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs-Sil-Ep				
Paragénesis mineral				
Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs-Sill-Ep-Tur-Bt-Op				
Fotomicrografías				




20I-C50-6-31: Nicoles Cruzados (Nx); A) Muestra la textura milonítica con cintas de cuarzo (Qtz) y foliación oblicua, se observa cuarzo (Qtz) interlobados y suturados y feldespato potásico (Kfs) alteradas a sericita (Ser) con bandas de moscovita (Ms), epidota (Ep) y biotita (Bt) deformadas, así como porfiroclastos de turmalina (Tur). B) Se observa a detalle blastos de cuarzo (Qtz) interlobados y suturados, juntamente con moscovita (Ms) y porfiroclastos de turmalina (Tur) y clorita en pseudomorfismo parcial de biotita (Bt-Chl). C) Se observa porfiroclastos de turmalina (Tur) rodeados por moscovita (Ms) y clorita (Chl) en pseudomorfismo total de la biotita (Bt) donde se desarrollan los minerales opacos (Op), también se puede observar sillimanita (Sil) intercrecida con feldespato potásico (Kfs). D) Se observa porfiroclastos de turmalina (Tur) en los dominios de cuarzo (Qtz) y feldespato potásico (Kfs), esta última alterada moderadamente a sericita (Ser).



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-033	8918822	391728	18s	Cushipampa	
Clasificación de la roca					
MILONITA DE PARAGNEIS					
Texturas principales					
Milonítica					
Tipo de metamorfismo					
Dinámica					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color beige rojizo, con estructura de tipo milonítica, con textura porfiroclástica, conformada principalmente por cuarzo, biotita, moscovita y porfiroclastos de granates alterados a óxidos de hierro, altamente alterada.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con porfiroclastos granate fragmentados, los cuales se encuentran alterados a óxido de hierro, presenta blastos de feldespato potásico con alteración a arcillas, así mismo, presenta bandas de biotita y moscovita orientados y deformados, se observan cuarzos con forma tipo bulging. Los minerales opacos se encuentran en forma diseminada.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Granate: Se muestra a modo de porfiroclastos con formas anhedrales, fragmentados y alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.10	8	
		Biotita: Blastos de formas subhedrales a euhedrales y hábito laminar, orientados según la foliación. Se encuentran alterados a clorita.	≤ 0.10	10	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloro, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales.	≤ 0.20	15	
		Cuarzo: Blastos con formas anhedrales, irregulares, se aprecian formando bandas con feldespatos potásicos. Se observan formando estructura tipo bulging.	≤ 0.40	20	
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales a subhedrales y hábito prismático, moderada y altamente alterados a sericita.	≤ 0.20	15	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, alargados, se presentan diseminada.	≤ 0.15	5	
		Rutilo: Se encuentra en la muestra como mineral menor, se observa como blastos de color marrón, con color de interferencia del mismo color del mineral, presenta un relieve muy alto, anhedral, se encuentran asociados a los minerales opacos y óxidos de hierro.	≤ 0.10	3	
	Secundarios	Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con colores de interferencia azulados de segundo a tercer orden, subdurales, con hábito laminar alargados, se presenta en pseudomorfismo de la biotita por alteración de esta.	-	9	
		Sericita: Agregados micro escamosos, se presentan remplazando al feldespato potásico.	-	15	

		Óxido de hierro: Agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración del granate, se pueden observar en moldes de los minerales relictos.	-	Traza
Metamorfismo	Tipo	Regional y Dinámico		
	Grado	Alto		
	Facies	Anfibolita alta		
	Protolito	Paragneis		
Alteraciones Cloritización media y sericitización media				
Asociaciones minerales (1) Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms±Rt (2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs				
Paragénesis mineral Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Chl-Ser-Ms ±Rt				
Fotomicrografías				
<p>A) Objetivo 2.5x B) Objetivo 10x</p> <p>20I-C50-6-33 NX 20I-C50-6-33 NX</p>				
<p>20I-C50-6-33: Nícoles Cruzados (Nx); A) Muestra la textura milonítica con cintas de cuarzo (Qtz), se observa porfiroclastos (Grt) fragmentados y blastos de cuarzo (Qtz) interlobados y suturados y feldespato potásico (Kfs) alteradas a sericita (Ser) con bandas de moscovita (Ms) y biotita (Bt) deformadas, así como porfiroclastos de granate (Grt) fragmentados y alterados a óxido de hierro (OxFe). B) Se observa a detalle blastos de cuarzo (Qtz) con estructura tipo bulging, conjuntamente con moscovita (Ms) y porfiroclastos de granate (Grt) y clorita en pseudomorfismo de biotita (Bt-Chl), como accesorio se presenta rutilo (Rt).</p>				



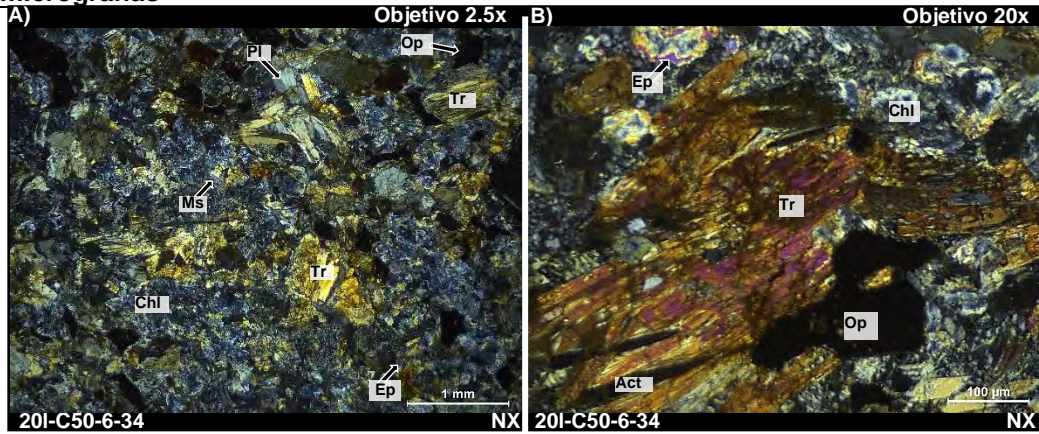
Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-034	8917015	389683	18s	San Pablo de Pillao	
Clasificación de la roca					
ESQUISTO DE TREMOLITA Y CLORITA					
Texturas principales					
Granoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica foliada, de color gris verdoso y con textura granoblástica. Se compone de bandas de plagioclasas, tremolita, moscovita y clorita. Se presentan piritas de forma diseminada.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica, de textura granoblástica. Se compone de agregados granoblásticos de tremolita, epidotas, escasas actinolitas y plagioclasas intercrecidos con agregados de cloritas y moscovita microescamosos. Como accesorios se observan minerales opacos.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Epidota: Blastos de formas anhedrales con hábito granular, ocurren reemplazando a plagioclasas.	≤ 0.10	13	
		Tremolita: Agregados fibrosos euhedrales y subhedrales de hábito prismático alargados de color amarillo pálido.	≤ 1.20	20	
		Moscovita: Ocurren como cristales anhedrales, de aspecto micáceo, están dispuestos de forma intersticial en los agregados de epidota y anfíboles.	≤ 0.40	10	
		Plagioclasas: Cristales de formas anhedrales, se encuentran reemplazados por sericita, generalmente el reemplazamiento es parcial quedando moldes irregulares con relictos de plagioclasas.	≤ 0.20	20	
		Actinolita: Agregados fibrosos euhedrales y subhedrales de hábito prismático alargados de color verde, que se encuentran junto con las plagioclasas y tremolitas.	≤ 0.25	15	
		Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, se presenta junto a la plagioclasa y la epidota.	≤ 0.25	15	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, alargados, se presentan diseminada en la muestra.	≤ 0.15	7	
	Secundarios	Oxido de hierro: Agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración de los minerales opacos.	-	Traza	
Sericita: Agregados micro escamosos, se presentan reemplazando al feldespato potásico.		-	Traza		
Metamorfismo		Tipo	Regional		
		Grado	Bajo grado		
		Facie	Esquistos verdes		
		Protolito	Basalto		
Alteraciones					
Cloritización intermedia					
Asociaciones minerales					
Pl-Chl-Ep-Tr-Act-Ms					



Paragénesis mineral


Pl-Chl-Ep-Tr-Act-Ms

Fotomicrografías




20I-C50-6-34: Nicoles Cruzados (Nx); A) Muestra la textura granoblástica, se observa los blastos de tremolita (Tr), plagioclasas (Pl), clorita (Chl) y moscovita (Ms), además ocurren diseminaciones de minerales opacos alterados (Op). B) Se observa los blastos de tremolita (Tr), clorita (Chl), actinolita (Act) juntamente con epidota (Ep).



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad
	Norte	Este	Zona	
20L-C50-6-035	8903601	392625	18s	Coñaica
Clasificación de la roca				
ESQUISTO DE BIOTITA Y RUTILO				
Texturas principales				
Granolepidoblástica				
Tipo de metamorfismo				
Regional				
Descripción Macroscópica				
Roca metamórfica de color gris, con estructura de tipo esquistosa, presenta cuarzos y feldespatos potásicos y plagioclasas alteradas y alineados con dirección preferencial de la esquistosidad, se encuentran blastos de biotita y moscovita. Presenta brillo nacarado propio de las micas.				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
Roca metamórfica con textura granolepidoblástica, constituida principalmente por blastos de cuarzo, que se encuentra con extinción ondulante indicando deformación, y feldespatos potásicos y plagioclasas, los mismos que se encuentran moderada a completamente alterados a sericita, en los intersticios se encuentran ocupados con biotita y moscovita. Se tiene rutilo y minerales opacos en menor proporción.				
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				
			Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales a subhedrales y hábito prismático, alterados a sericita.	≤ 0.15	12
		Plagioclasas: Blastos con formas subhedrales de hábito prismático, con macla polisintética, deformados y alterados a sericita; en ocasiones completamente quedando a manera de moldes. Algunos presentan inclusiones de circón.	≤ 0.15	8
		Cuarzo: Blastos de formas anhedrales, muestran extinción ondulante, en algunas ocasiones se muestran en contacto recto (punto triple)	≤ 0.10	25
		Biotita: Se encuentran como micas subhedrales, con un relieve moderado, una coloración de marrón oscuro y colores de interferencia de segundo a tercer orden, la biotita se encuentra marcado la foliación principal.	≤ 0.15	15
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales, con habito laminar alargado, se encuentra marcado foliación principal.	≤ 0.10	10
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, presentes en formas alargadas que siguen la esquistosidad. Generalmente están asociadas al rutilo.	≤ 0.10	5
		Rutilo: cristales anhedrales de color marrón, que ocurren por alteración de biotita, asociados con cloritas.	≤ 0.20	5
	Secundarios	Sericita: Agregados escamosos, ocurren producto de la alteración de los cristales de plagioclasas y feldespatos potásicos.	-	12
		Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con colores de interferencia de segundo a tercer orden azulados, subdurales, con habito laminar alargado, se encuentra como reemplazo parcial pseudomórfico de la biotita.	-	8

		Oxido de Hierro: agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración de la biotita.	-	Traza
Metamorfismo	Tipo	Regional		
	Grado	Alto		
	Facie	Anfibolita		
	Protolito	volcánico		
Alteraciones				
Cloritización incipiente, sericitización moderada, oxidación incipiente.				
Asociaciones minerales				
Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs Rt-Op Chl-Ser-Pl-Qtz				
Paragénesis mineral				
Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs- Rt-Op- Chl-Ser				
Fotomicrografías				
<p>20I-C50-6-35: Nicles Cruzados (Nx). A) Muestra la textura granolepidoblástica, se observa porfiroblastos de cuarzo (Qtz) y plagioclasas (Pl) alteradas a sericita (Ser); también se observan cloritas en pseudomorfismo parcial de la biotita (Bt-Chl), así como un remplazamiento total de la biotita en óxido de hierro (OxFE). B) Se observan blastos de feldespato potásico (Kfs), cuarzo con extinción ondulante (Qtz), moscovita (Ms) con inclusiones de cuarzo juntamente con blastos anhedrales de rutilo (Rt), se observa clorita en pseudomorfismo parcial de la biotita (Bt-Chl). C y D) Se observan blastos anhedrales de cuarzo (Qtz), blastos subhedrales de biotita (Bt) y clorita en pseudomorfismo parcial de la biotita (Bt-Chl), también se observa blastos de rutilo (Rt) superpuestos a los blastos de biotita (Bt) y el reemplazo total de biotita (Bt) por óxidos de hierro (OxFE).</p>				




Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-037	8898664	393476	18s	Huascapampa	
Clasificación de la roca					
ANFIBOLITA					
Texturas principales					
Nematolepidoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color gris, con estructura de tipo esquistosa, presenta cuarzos, blastos de hornblenda y biotita. Presenta algunas venillas de cuarzo.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica, con textura nematolepidoblástica. Se compone de hornblenda, biotita, cuarzo, epidota, clorita, minerales opacos y plagioclasa. La epidota y las cloritas corresponden a la fase de metamorfismo retrógrado y están reemplazando a las plagioclasas, hornblenda y biotita. La roca se encuentra cortada por microfracturas. En sectores puntuales ocurren minerales opacos de hábito pseudomorfo.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Hornblenda: Blastos de formas subhedrales a euhedrales de hábito tabular, orientados siguiendo la dirección de la foliación, con inclusiones de cuarzo. Están reemplazados por epidota y cloritas, se encuentran asociados con minerales opacos.	≤ 0.80	30	
		Biotita: Se encuentran como micas subhedrales a euhedrales, con un relieve moderado, una coloración de marrón oscuro y colores de interferencia de segundo a tercer orden, la biotita se encuentra marcado la foliación principal.	≤ 0.15	20	
		Cuarzo: Blastos de formas anhedrales, de hábito irregular, presentan extinción ondulante, ocurren rellenando intersticios.	≤ 0.08	15	
		Epidota: Cristales de formas anhedrales, de hábito prismático, se encuentran orientados con algunas inclusiones de biotita. Se presentan reemplazando a anfíboles y plagioclasas.	≤ 0.20	15	
		Plagioclasa: Blastos de formas subhedrales de hábito tabular, están orientados. Se encuentran maclados. Están reemplazados por epidota.	≤ 0.08	8	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos. Generalmente están asociadas a la hornablenda y biotita.	≤ 0.10	5	
	Secundarios	Clorita: Cristales de formas subhedrales de hábito micáceo y en agregados masivos, ocurre reemplazando a los blastos de anfíboles.	-	7	
		Sericita: agregados micro escamosos, se presentan como producto de la alteración de las plagioclasas.	-	Traza	



Metamorfismo	Tipo	Regional
	Grado	Intermedio
	Facie	Transición esquistos verde a anfibolita
	Protolito	Ígneo
Alteraciones		
Cloritización incipiente, sericitización moderada.		
Asociaciones minerales		
(1) Qtz-Bt-Ms-Pl-Hbl-Op-Ep-Ttn		
(2) Ep-Chl-Pl-Qtz		
Paragénesis mineral		
Qtz-Bt-Ms-Pl-Hbl-Op-Ep-Ttn-Ep-Chl		
Fotomicrografías		
<p>20I-C50-6-37: Nicles Cruzados (Nx), Nicles Paralelos (Np). A) Muestra la textura nematolepidoblástica, se observan blastos de cuarzo (Qtz), plagioclasas (Pl) alteradas a sericita (Ser) y epidota (Ep); también se observa biotita (Bt) marcando una orientación preferente de minerales y hornblenda (Hbl). B) Se observan blastos de cuarzo (Qtz), biotita (Bt) de color marrón oscuro marcando una orientación preferente y hornblenda (Hbl) con inclusiones de cuarzo, que indica que se formó a expensas de esta. C) Se observan blastos de cuarzo (Qtz), epidota (Ep) y biotita reemplazada parcialmente por clorita (Bt-Chl) y moscovita (Ms) en menor proporción. D) Se observan blastos anhedrales de cuarzo (Qtz), blastos subhedrales de biotita (Bt) y clorita en pseudomorfismo parcial a total de la biotita (Bt-Chl), también se observa blastos de hornblenda (Hbl) con inclusiones de cuarzos (Qtz).</p>		



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-038	8912091	399712	18s	Pochogoy	
Clasificación de la roca					
ANFIBOLITA					
Texturas principales					
Nematoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica masiva compacta, de color gris blanquecino con textura orientada. Se compone de anfíboles, plagioclasas tabulares, piritita diseminada. La roca está cortada por fracturas rellenas de cuarzo secundario. Posee una densidad media, dureza media, no presenta magnetismo.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica, con textura nematoblástica. Se compone de anfíboles, plagioclasas, escaso cuarzo, epidota, cloritas, minerales opacos y trazas de circón. La epidota y las cloritas corresponden a la fase de metamorfismo retrógrado y están reemplazando a las plagioclasas y anfíboles. En sectores puntuales ocurren minerales opacos.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Hornblenda: Blastos de formas subhedrales a euhedrales de hábito tabular, con inclusiones de cuarzo. Están reemplazados por epidota y cloritas, se encuentran asociados con minerales opacos.	≤ 4.00	22	
		Cuarzo: Blastos de formas anhedrales, de hábito irregular, presentan extinción ondulante, ocurren relleno intersticios.	≤ 0.15	5	
		Plagioclasas: Blastos con formas subhedrales de hábito prismático, con macla polisintética, alterado parcialmente a sericita.	≤ 0.08	10	
		Epidota: Cristales de formas anhedrales, de hábito prismático. Se presentan reemplazando a anfíboles y plagioclasas.	≤ 0.20	13	
		Actinolita: Agregados fibrosos euhedrales y subhedrales de hábito primático alargado y color verde petróleo, se encuentran reemplazando a las hornblendas juntamente con la tremolita y clorita.	≤ 0.20	15	
	Tremolita: Agregados fibrosos euhedrales y subhedrales de hábito primático alargado y de color amarillo pálido, se encuentran reemplazando a las hornblendas juntamente con la actinolita.	≤ 0.20	18		
Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos. Generalmente están asociadas a la hornblenda.	≤ 0.08	5		
Secundarios	Óxido de hierro: Agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración del granate, se pueden observar en moldes de los minerales relictos.	≤ 0.10	5		
	Clorita: Cristales de formas subhedrales con hábito micáceo, se presentan reemplazando a cristales de anfíboles.	-	7		



	Sericita: agregados micro escamosos, se presentan como producto de la alteración de las plagioclasas.	-	Traza
MATRIZ			
Metamorfismo	Tipo	Regional	
	Grado	Intermedio	
	Facie	Transición esquistos verde a anfibolita	
	Protolito	Ígneo	
Alteraciones Cloritización incipiente, sericitización moderada.			
Asociaciones minerales (1) Qtz-Pl-Ep-Hbl (2) Tr-Chl-Act-Ep-Pl			
Paragénesis mineral Qtz-Pl-Ep-Hbl-Tr-Chl-Act			
Fotomicrografías			
<p>20I-C50-6-38: Nicles Cruzados (Nx). A) Muestra la textura nematoblástica, se observa blastos de hornblenda (Hbl) reemplazados por tremolita (Tr), actinolita (Act) y clorita (Chl); también se encuentran algunas plagioclasas (Pl) reemplazadas por epidota (Ep) y minerales opacos (Op) alterado a óxidos de hierro (OxFe). B) Se observa un molde de hornblenda reemplazado por tremolita (Tr), actinolita (Act) y clorita (Chl). C) Se observan blastos de hornblenda (Hbl) en puntos triples juntamente con plagioclasas reemplazadas por epidota (Ep), también se observan moldes de hornblenda reemplazado por tremolita (Tr) y actinolita (Act). D) Se observan blastos de hornblenda (Hbl) reemplazado parcialmente por tremolita (Tr), epidota (Ep) y clorita (Chl).</p>			



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-040	8909493	396182	18s	Ticapampa	
Clasificación de la roca					
MILONITA DE ESQUISTO					
Texturas principales					
Porfiroclástica					
Tipo de metamorfismo					
Dinámico					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica compacta, de color beige rojizo, con estructura de tipo milonítica, con textura porfiroclástica con porfiroclastos de granate fragmentados, conformada principalmente por cuarzo, biotita, moscovita y clorita, presenta óxidos de hierro.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura porfiroclástica, constituida principalmente por clastos de cuarzo, que se encuentra con extinción ondulante indicando deformación, conjuntamente con porfiroclastos de granates fragmentados; también se observan feldespatos potásicos, los mismos que se encuentran levemente alterados a sericita, en los intersticios se encuentran ocupados con biotita y moscovita. Se observan minerales opacos en menor proporción.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA					
				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Granate: Se muestra a modo de porfiroclastos con formas subhedrales, fragmentados. Se encuentra englobado por granos de cuarzo, entre las fracturas se puede observar el desarrollo de clorita.	≤ 2.00	20	
		Biotita: Blastos de formas subhedrales a euhedrales y hábito laminar y de grano medio, orientados según la foliación. Se encuentran alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.10	10	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subduales.	≤ 0.10	10	
		Cuarzo: Clastos con formas anhedrales, irregulares, se aprecian juntamente con los feldespatos potásicos.	≤ 1.00	30	
		Feldespato potásico: Blastos de formas anhedrales, altamente alterados a sericita.	≤ 0.50	15	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, alargados, se presentan diseminada.	≤ 0.20	3	
		Rutilo: cristales anhedrales de color marrón, que ocurren por alteración de biotita, asociados con cloritas.	≤ 0.20	2	
	Secundarios	Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con hábito laminar alargados.	-	10	
		Sericita: Agregados micro escamosos, se presentan remplazando al feldespato potásico.	-	Traza	
		Óxido de Hierro: agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la alteración de la biotita.	-	Traza	
Metamorfismo		Tipo	Regional y Dinámico		
		Grado	Alto		
		Facie	Anfibolita		
		Protolito	Esquisto		
Alteraciones					
Cloritización media y Sericitización media					





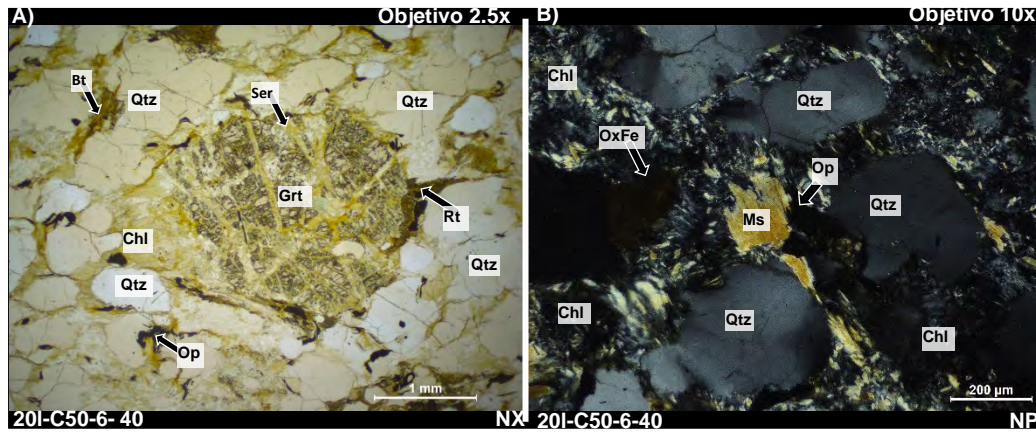
Asociaciones minerales

- (1) Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms±Rt
- (2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs

Paragénesis mineral

Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Chl-Ser-Ms ±Rt

Fotomicrografías



20I-C50-6-40: Nícoles Cruzados (Nx), Nícoles Paralelos (Np). A) Muestra la textura porfiroclástica, se observa porfiroclastos de granate (Grt) y cuarzo (Qtz) fragmentados en contacto con rutilo (Rt); así mismo se observan porfiroclastos de cuarzo (Qtz) y feldespatos potásicos alterados completamente a sericita (Ser) y minerales opacos diseminados. B) Se observan porfiroclastos de cuarzo (Qtz) envueltas en micas de moscovita (Ms) y clorita (Chl), también se observan óxidos de hierro (OxFe).



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-041	8907375	394679	18s	Ticapampa	
Clasificación de la roca					
MILONITA DE PARAGNEIS					
Texturas principales					
Milonítica					
Tipo de metamorfismo					
Dinámico					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color gris blanquecina, con estructura de tipo milonítica, presenta porfiroclastos de cuarzo y blastos de feldespatos potásicos alterados alineados con dirección preferencial, biotita y moscovita. Presenta brillo nacarado propio de las micas.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura porfiroclástica, constituida principalmente por blastos de cuarzo, que se encuentra con extinción ondulante indicando deformación, se encuentran en forma de bulging, interlobados y suturados; también se observan feldespatos potásicos, los mismos que se encuentran levemente alterados a sericita, en los intersticios se encuentran ocupados con biotita y moscovita. Se observan minerales opacos en menor proporción.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA					
				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Granate: Se muestra a modo de porfiroclastos con formas subhedrales, fragmentados. Se encuentra englobado por granos de cuarzo, entre las fracturas se puede observar el desarrollo de clorita.	≤ 0.30	15	
		Cuarzo: Blastos con formas anhedrales, irregulares, se aprecian formando bandas con feldespatos potásicos. Se observan en forma de bulging, interlobada y suturados.	≤ 0.80	25	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales.	≤ 0.20	17	
		Biotita: Se encuentran de color marrón, subhedrales, se exhiben a modo de blastos laminares, formando agregados bandeados intercalados con las bandas lenticulares de cuarzo. Se encuentran alterados a cloritas.	≤ 0.20	14	
		Feldespato potásico: Blastos de formas subhedrales, parcialmente alterados a sericita.	≤ 0.40	15	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos, se presentan de siguiendo la orientación de la foliación, asociados a la clorita.	≤ 0.08	7	
Secundarios	Clorita: Se observa en la muestra con un relieve medio, verdoso, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, se presenta en pseudomorfismo de la biotita por alteración de la misma.	-	7		
Metamorfismo		Tipo	Regional y Dinámico		
		Grado	Alto		
		Facies	Anfibolita Alta		
		Protolito	Paragneis		
Alteraciones					
Cloritización media y sericitización media					





Asociaciones minerales

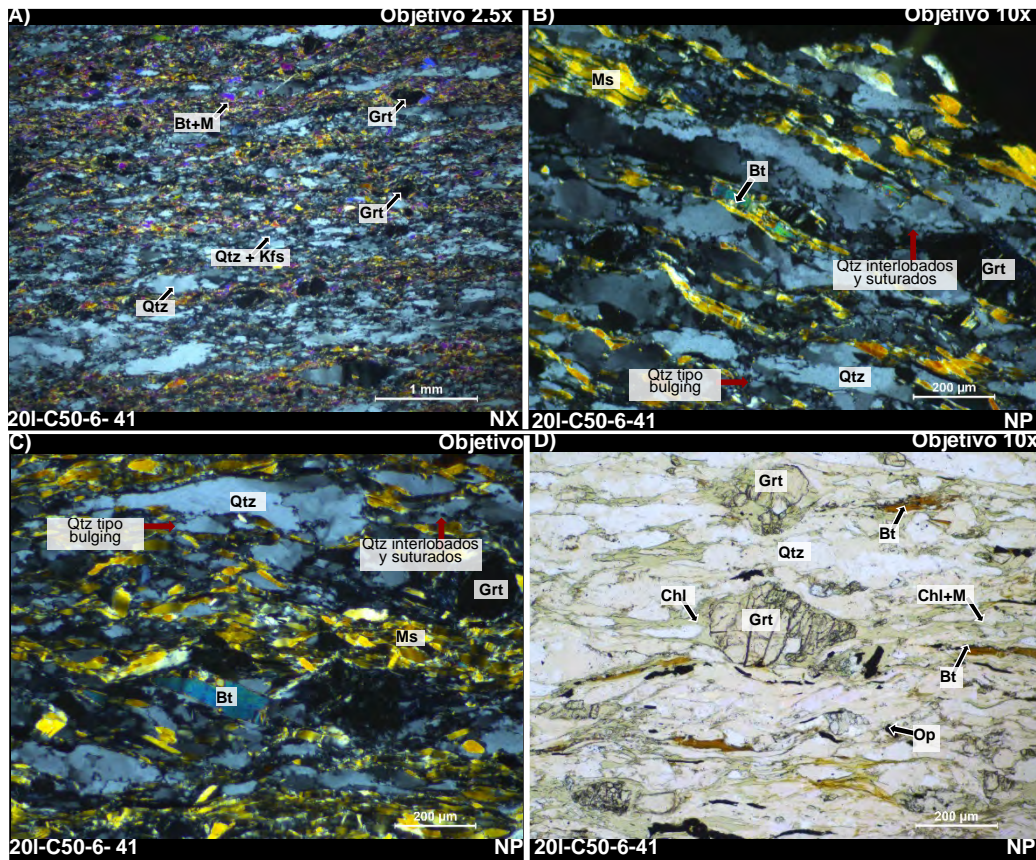
(1) Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Ms

(2) Qtz-Chl-Ser-Ms-Kfs

Paragénesis mineral


Qtz-Kfs-Bt-Grt-Op-Chl-Ser-Ms

Fotomicrografías



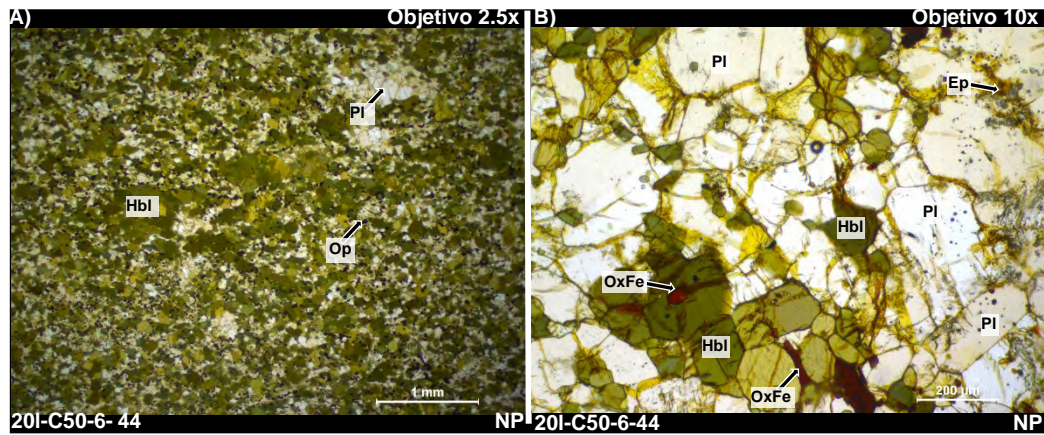
20I-C50-6-41: Nícoles Cruzados (Nx), Nícoles Paralelos (Np). A) Muestra la textura milonítica, se observa porfiroclastos de cuarzo (Qtz) y granate (Grt) fragmentados envueltos, presenta blastos de feldespato potásico (Kfs), biotita (Bt) y moscovita (Ms). B y C) Se observan porfiroclastos de Granate (Grt) y en detalle blastos de cuarzo con forma de bulging, interlobados y suturados. D) Porfiroclastos de granate (Grt) fragmentados, envueltos en micas de biotita (Bt), moscovita (Ms) y Clorita (Chl).



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-044	8898749	392521	18s	Huascapampa	
Clasificación de la roca					
ANFIBOLITA					
Texturas principales					
Nematoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica, de color gris oscuro y grano fino, con estructura no foliada, presenta plagioclasas, hornblenda y moscovitas, pirita diseminada y algunas epidotas.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura nematoblástica, constituida principalmente por blastos de plagioclasa, algunas plagioclasas presentan inclusiones de circones y otras alteradas a epidota. Se pueden observar óxidos de hierro y algunos minerales opacos superpuestos en las hornblendas.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Hornblenda: Blastos de formas subhedrales a euhedrales, con hábito prismático, presentan maclas e inclusiones de minerales opacos. Están parcialmente remplazados por epidota y cloritas.	≤ 0.30	40	
		Plagioclasas: Blastos con formas subhedrales de hábito prismático, con macla polisintética, alterado casi completamente por agregados de sericita quedando a manera de moldes.	≤ 0.40	30	
		Epidota: Cristales de formas anhedrales, de hábito prismático. Se presentan remplazando a anfíboles y plagioclasas.	≤ 0.20	8	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos y se encuentran de forma diseminada.	≤ 0.20	17	
	Secundarios	Óxido de hierro: Agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la oxidación de la hornblenda, se pueden observar en moldes prismáticos.	≤ 0.08	5	
Sericita: Agregados micro escamosos, se presentan como alteración de las plagioclasas.		-	Traza		
Metamorfismo		Tipo	Regional		
		Grado	Intermedio		
		Facie	Anfibolita		
		Protolito	volcánico		
Alteraciones					
Oxidación incipiente, sericitización incipiente					
Asociaciones minerales					
Hbl-Pl-Ep					
Paragénesis mineral					
Hbl-Pl-Ep					




Fotomicrografías



20I-C50-6-44: Nicales Paralelos (Np). A) Muestra la textura nematoblástica, se observa blastos de plagioclasas (Pl) hornblenda (Hbl) y minerales opacos (Op) de forma diseminada. B) Se observan blastos de plagioclasa (Pl), hornblenda (Hbl), algunos óxidos de hierro (OxFe) en moldes, y epidota (Ep) como alteración de plagioclasa.



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-045	8902282	393091	18s	Huascapampa	
Clasificación de la roca					
ORTOGNEIS DE BIOTITA					
Texturas principales					
Granolepidoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica, de color gris, con estructura de tipo bandeada, presenta cuarzos, feldspatos potásicos y plagioclasas, se encuentran blastos de biotita, epidota y moscovita. Presenta brillo nacarado propio de las micas.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura granolepidoblástica, constituida principalmente por blastos de cuarzo, que se encuentra con extinción ondulante con inclusiones de circón y moscovita, y feldspatos potásicos y plagioclasas, en los intersticios se encuentran ocupados con biotita y moscovita. Se tiene minerales opacos de manera diseminada.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Biotita: Se encuentran de color marrón, se exhiben a modo de blastos laminares. La biotita se encuentra marcado la foliación principal de la muestra.	≤ 0.15	18	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subdurales, con inclusiones de biotita y minerales opacos.	≤ 0.10	12	
		Cuarzo: Blastos de formas subhedrales, presenta extinción ondulante, se encuentra en 2 tamaños en forma de porfiroblastos (Qtz I) (≤0.50 mm) y otros más pequeñas (Qtz II) que se hallan junto con las micas en forma de matriz (≤ 0.20). Presenta inclusiones de circón y moscovita.	≤ 0.50	25	
		Feldespato potásico: blastos de formas anhedrales y hábito prismático.	≤ 0.40	13	
		Plagioclasas: Blastos con formas subhedrales de hábito prismático, con macla polisintética, alterado casi completamente por agregados de sericita quedando a manera de moldes	≤ 0.40	17	
		Epidota- Allanita: Cristales de formas anhedrales, presentan birrefringencia, producto de la alteración de plagioclasas.	≤ 0.40	10	
	Accesorios	Circón: Blastos de formas subhedrales a euhedrales y hábito prismático, presentes en las bandas lepidoblásticas de moscovita y biotita.	≤ 0.08	Traza	
		Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos y se encuentran de forma diseminada.	≤ 0.15	5	
Secundarios	Sericita: Agregados micro escamosos, se presentan como alteración de los feldspatos.	-	Traza		
Metamorfismo	Tipo	Regional			



	Grado	Intermedio
	Facie	Anfibolita
	Protolito	Ígneo

Alteraciones

Sericitización incipiente.

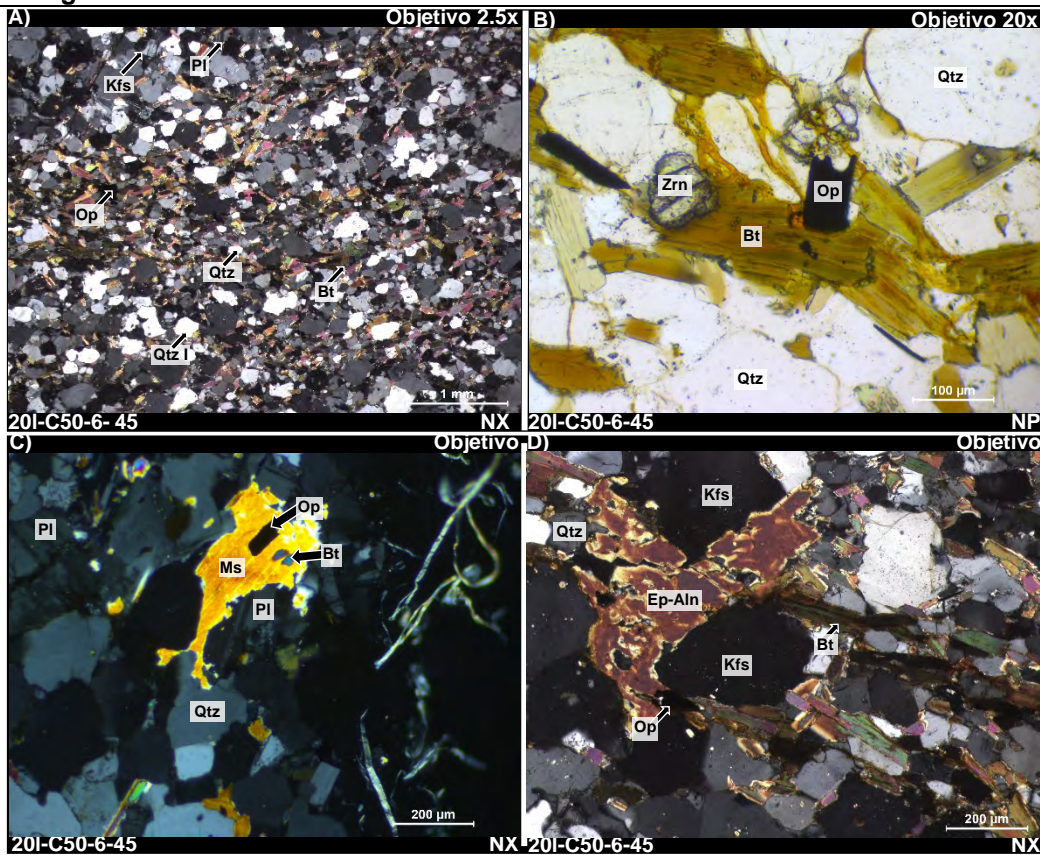
Asociación mineral

Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs-Ep

Paragénesis mineral


Qtz-Bt-Ms-Pl-Kfs-Ep

Fotomicrografías



20I-C50-6-45: Nícoles Cruzados (Nx), Nícoles Paralelos (Np). A) Muestra la textura granolepidoblástica, se observa porfiroblastos de cuarzo (Qtz), con blastos de plagioclasa (Pl), feldespato potásico (Kfs) intercalados con bandas compuestas de biotita (Bt). B) Se observan blastos de circón (Zrn), cuarzo (Qtz), biotita (Bt) y minerales opacos (Op) con forma euhedral. C) Se observan blastos de moscovita con inclusiones de biotita (Bt) y minerales opacos (Op). D) Se observa blastos de epidota del tipo allanita (Ep-Aln), juntamente con blastos de cuarzo (Qtz), feldespato potásico (Kfs) y biotita (Bt).



Código de muestra	Sistema de Coordenadas			Localidad	
	Norte	Este	Zona		
20L-C50-6-047	8910015	396898	18s	Huacachi	
Clasificación de la roca					
METAVOLCÁNICO					
Texturas principales					
Granoblástica					
Tipo de metamorfismo					
Regional					
Descripción Macroscópica					
Roca metamórfica de color gris verdoso, con estructura de tipo foliada, presenta plagioclasas, epidota y moscovitas con dirección preferencial, se encuentran moderadamente cloritizados. Presenta brillo nacarado propio de las micas.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca metamórfica con textura granoblástica, constituida principalmente por blastos de plagioclasa, moscovita, clorita y cuarzo en menor proporción, algunas plagioclasas se encuentran parcialmente alteradas a sericita y otras se encuentran reemplazadas por epidota y pumpellyta, en los intersticios se encuentran ocupados con moscovita y clorita. Se encuentran minerales opacos en menor proporción alterados a óxidos de hierro.					
DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA				Tamaño (mm)	%
BLASTOS	Esenciales	Prehnita: Agregados prismáticos fibrosos subhedrales alargados, de color amarillo pálido y colores de interferencia amarillos de segundo orden, se encuentran reemplazando a las plagioclasas.	≤ 0.05	10	
		Pumpellyta: Agregados prismáticos subhedrales alargados, de color amarillo pálido y colores de interferencia azulados, se encuentran reemplazando a las plagioclasas juntamente con la prehnita.	≤ 0.10	15	
		Epidota: Cristales de formas anhedrales, presentan birrefringencia, tienen lugar por reemplazamiento de plagioclasas.	≤ 0.10	13	
		Cuarzo: Blastos de formas anhedrales y hábito granular, presenta extinción ondulante.	≤ 0.08	8	
		Plagioclasa: Blastos de formas anhedrales a subhedrales y hábito tabular, con maclas polisintéticas, con ligera alteración a zoisita y sericita.	≤ 0.25	18	
		Moscovita: Se observa en la muestra con un relieve medio, incoloros, con colores de interferencia de segundo a tercer orden, subduales.	≤ 0.15	12	
		Clorita: Se observa en la muestra de color verdoso, de hábito micáceo, y con una granulometría muy fina.	≤ 0.02	15	
		Carbonatos: Cristales de formas subhedrales a de aspecto granular, se encuentran en un sector de la muestra asociados a los agregados de serpentinas.	≤ 0.20	6	
	Accesorios	Minerales opacos: Cristales de formas anhedrales, masivos y se encuentran de forma diseminada.	-	3	
Secundarios	Sericita: Agregados micro escamosos, se presentan como alteración de las plagioclasas.	-	Traza		

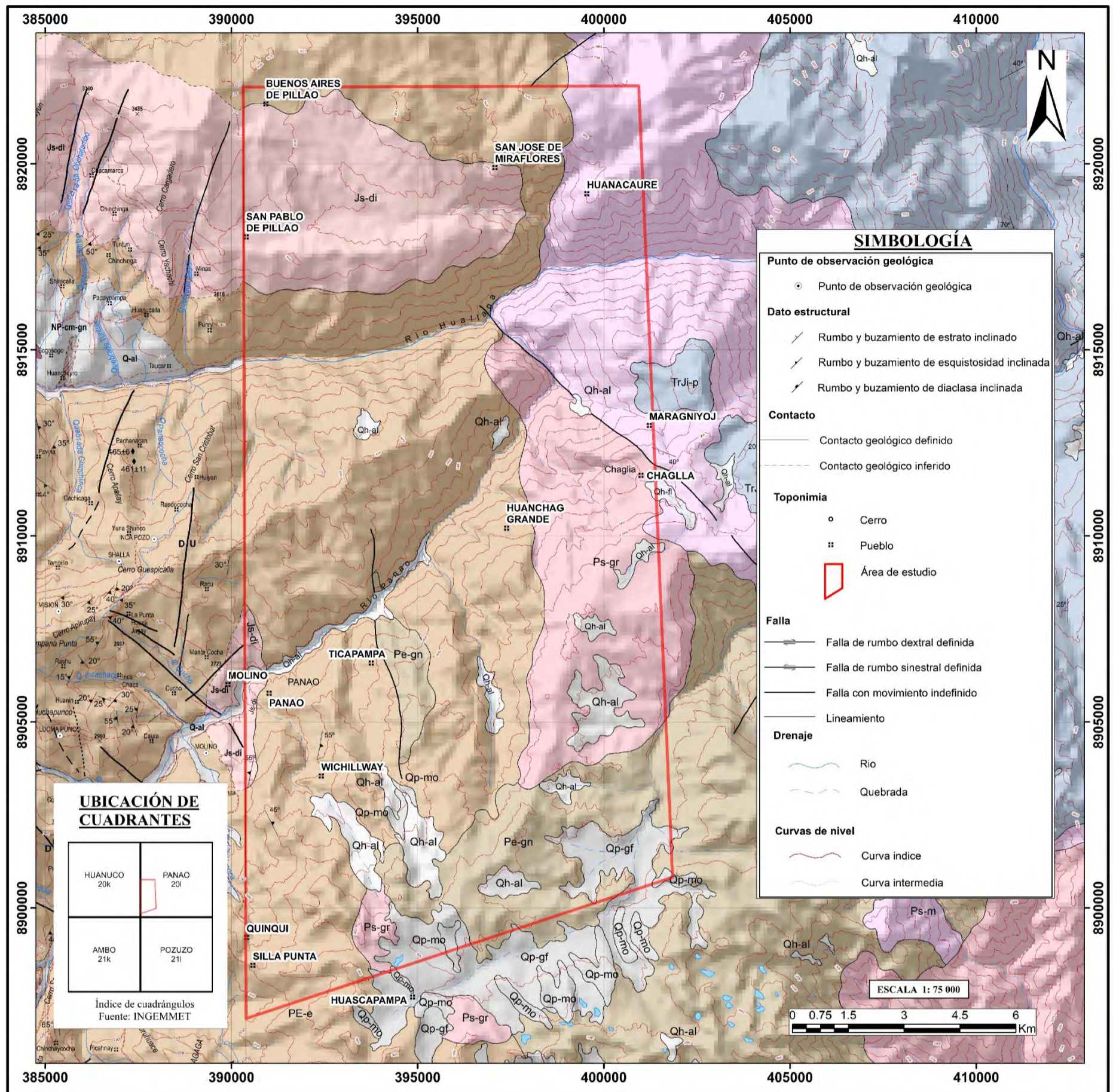


		Óxido de hierro: Agregados criptocristalinos, se presentan como producto de la oxidación de los minerales opacos.	-	Traza
Metamorfismo	Tipo	Regional		
	Grado	Muy bajo		
	Facies	Prehnita-Pumpellyita		
	Protolito	Volcánico		
Alteraciones Sericitización moderada				
Asociaciones minerales Qtz-Ms-Pl-Cb-Pmp-Prh-Ep-Chl				
Paragénesis mineral Qtz-Ms-Pl-Cb-Pmp-Prh-Ep-Chl				
Fotomicrografías				
<p>20I-C50-6-45: Nicoles Cruzados (Nx). A) Muestra la textura granoblástica, se observan blastos de moscovita (Ms) y plagioclasas (Pl) siendo reemplazadas pumpellyta (Pmp), también se observa algunas zonas con carbonatos (Cb). B) Se observan blastos de carbonatos (Cb) juntamente con clorita (Chl) y plagioclasa (Pl) reemplazadas por pumpellyta (Pmp). C) Se observan blastos de plagioclasa levemente alterados a sericita (Pl-Ser), blastos de pumpellyta (Pmp), moscovita (Ms) y carbonatos (Cb). D) Se observa un molde de plagioclasa siendo reemplazado completamente por pumpellyta (Pmp) en una matriz de Prehnita (Prh)</p>				



Anexo 2. Mapa geológico regional

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DEL CUADRÁNGULO DE PANAÓ - HOJA 2013
LOCALIDADES DE SAN PABLO DE PILLAO, PANAÓ Y CHAGLLA



LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos Fluviales Qh-fl	Diorita Js-di Granito de Paucartambo Ps-gr
		PLEISTOCENA	Depósitos Aluviales Qh-al	
			Depósitos Glaciofluviales Qp-gf	
			Depósitos Morrénicos Qp-mo	
MESOZOICO	JURASICO	SUPERIOR	Grupo Pucará TrJi-p	
		INFERIOR		
	TRIASICO	SUPERIOR	Grupo Mitu Ps-m	
		INFERIOR		
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR	Complejo Basal del Marañón	
NEO - PROTEROZOICA			Esquistos PE-e	
			Gneiss Pe-gn	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis: Evolución de las condiciones de P-T del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla – Huánuco.

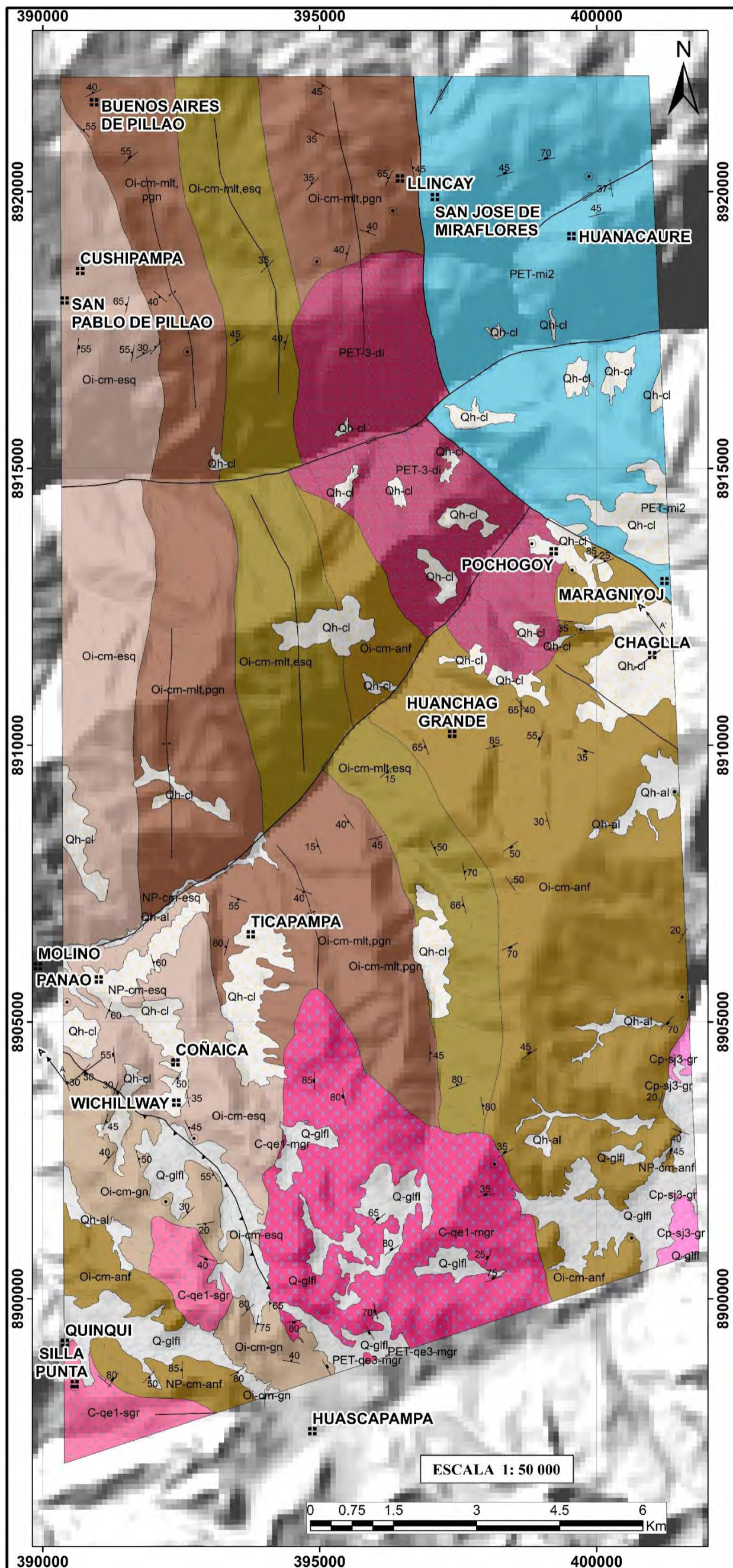
Plano: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL
Mapa N°: **01**

Diseñado por: Naomi Lucana Muñoz

Datum/ Zona: WGS84/18S	Fuente: De la Cruz et al. (1996)	Fecha: Marzo 2024
------------------------	----------------------------------	-------------------



Anexo 3. Mapa geológico local



LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	ROCAS ESTRATIFICADAS		
			UNIDAD (+Grosor)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	GRUPO MITU (1000 m)	Qh-fl	Depósitos Fluviales
				Qh-cl	Depósitos Coluviales
Q-gflf	Depósitos Fluvioglaciares				
MESOZOICO	TRIÁSICO	INFERIOR	TsJi-mi2		
			Complejo del Marañón (1800 m)	Oi-cm-esq	Esquistos
Oi-cm-anf	Anfibolitas				
Oi-cm	Ortogneis				
Oi-cm-mlt,esq	Milonita Esquistos				
Oi-cm-mlt,pgn	Milonita Paragneis				
PALEOZOICO	ORDOVÍCICO				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	ROCAS NO ESTRATIFICADAS		
			UNIDAD	ROCAS NO ESTRATIFICADAS	
MESOZOICO	TRIÁSICO	INFERIOR	NO DIFERENCIADO	Diorita Dioritas de grano medio, con fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíboles.	
			PLUTÓN SAN JUAN	Granito Granito de grano grueso, con fenocristales de ortosa, cuarzo y biotita.	
PALEOZOICO	PÉRMICO		PLUTÓN QUEROC	Monzogranito Monzogranitos de grano grueso, con fenocristales de ortosa, cuarzo y biotita.	
			Sienogranito Sienogranito de grano grueso, con fenocristales de ortosa, plagioclasa, cuarzo y biotita.		
CARBO-NIFERO					

SIMBOLOGÍA

	Punto de observación geológica
Dato estructural	
	Rumbo y buzamiento de estrato inclinado
	Rumbo y buzamiento de esquistosidad inclinada
	Rumbo y buzamiento de diaclasa inclinada
Contacto	
	Contacto geológico definido
Toponimia	
	Pueblo
Pliegues	
	Anticlinal inferido
Falla	
	Falla inversa
	Falla de rumbo dextral definida
	Falla de rumbo sinistral definida
	Falla con movimiento indefinido
	Lineamiento
Sección	
	Línea de sección

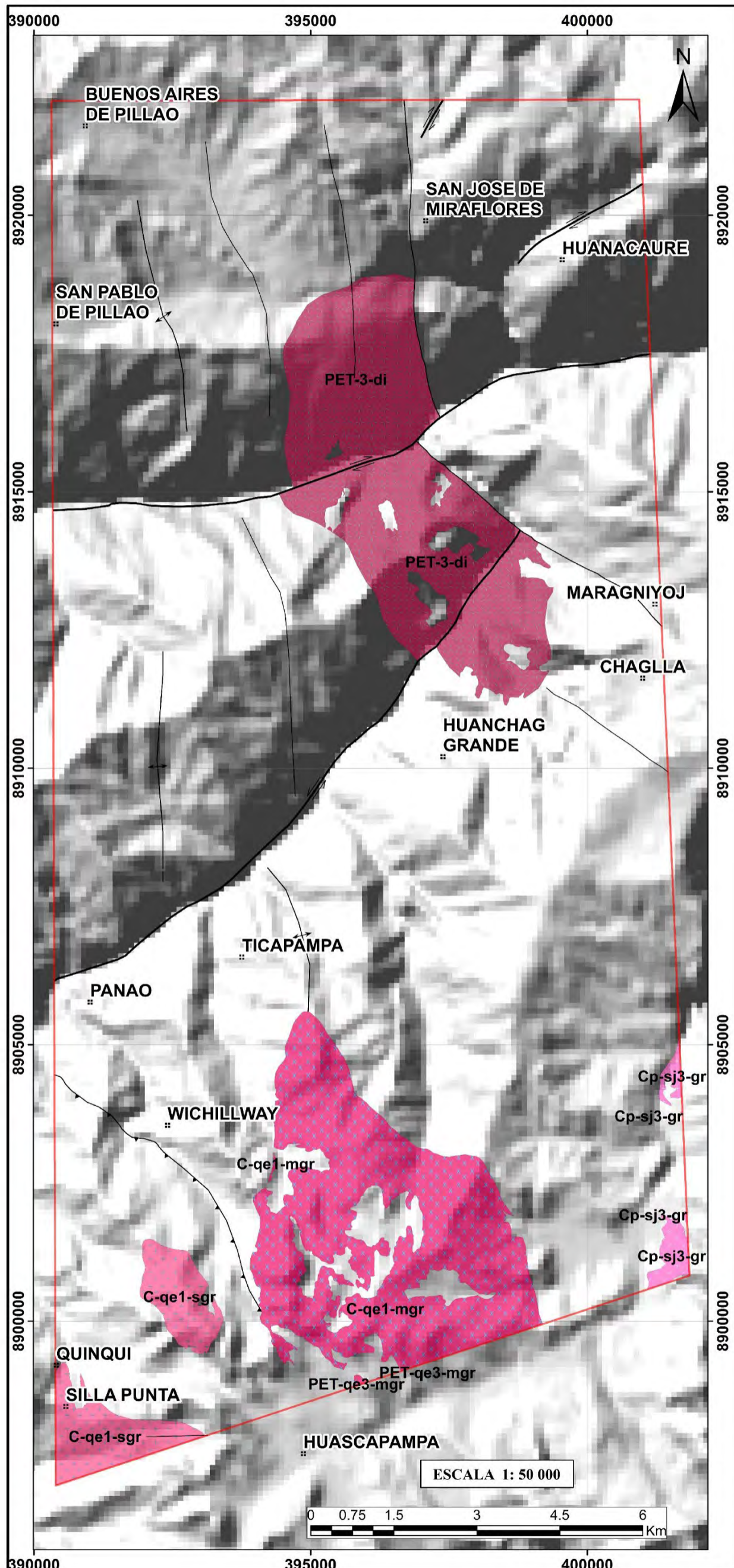
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis: Evolución de las condiciones de P-T del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla – Huánuco.

Plano: MAPA GEOLÓGICO LOCAL	Mapa N°: 02
Diseñado por: Naomi Lucana Muñoz	
Datum/ Zona: WGS84/18S	Escala: Indicada
	Fecha: Marzo 2024



Anexo 4. Mapa geológico estructural y magmático



LEYENDA

UNIDAD	ROCAS NO ESTRATIFICADAS
NO DIFERENCIADO	Diorita Dioritas de grano medio, con fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíboles. PET-3-di
PLUTÓN SAN JUAN	Granito Granito de grano grueso, con fenocristales de ortosa, cuarzo y biotita. Cp-sj3-gr
PLUTÓN QUEROC	Monzogranito Monzogranitos de grano grueso, con fenocristales de ortosas, cuarzo y biotita. C-qe1-mgr
	Sienogranito Sienogranito de grano grueso, con fenocristales de ortosa, plagioclasa, cuarzo y biotita. C-qe1-sgr

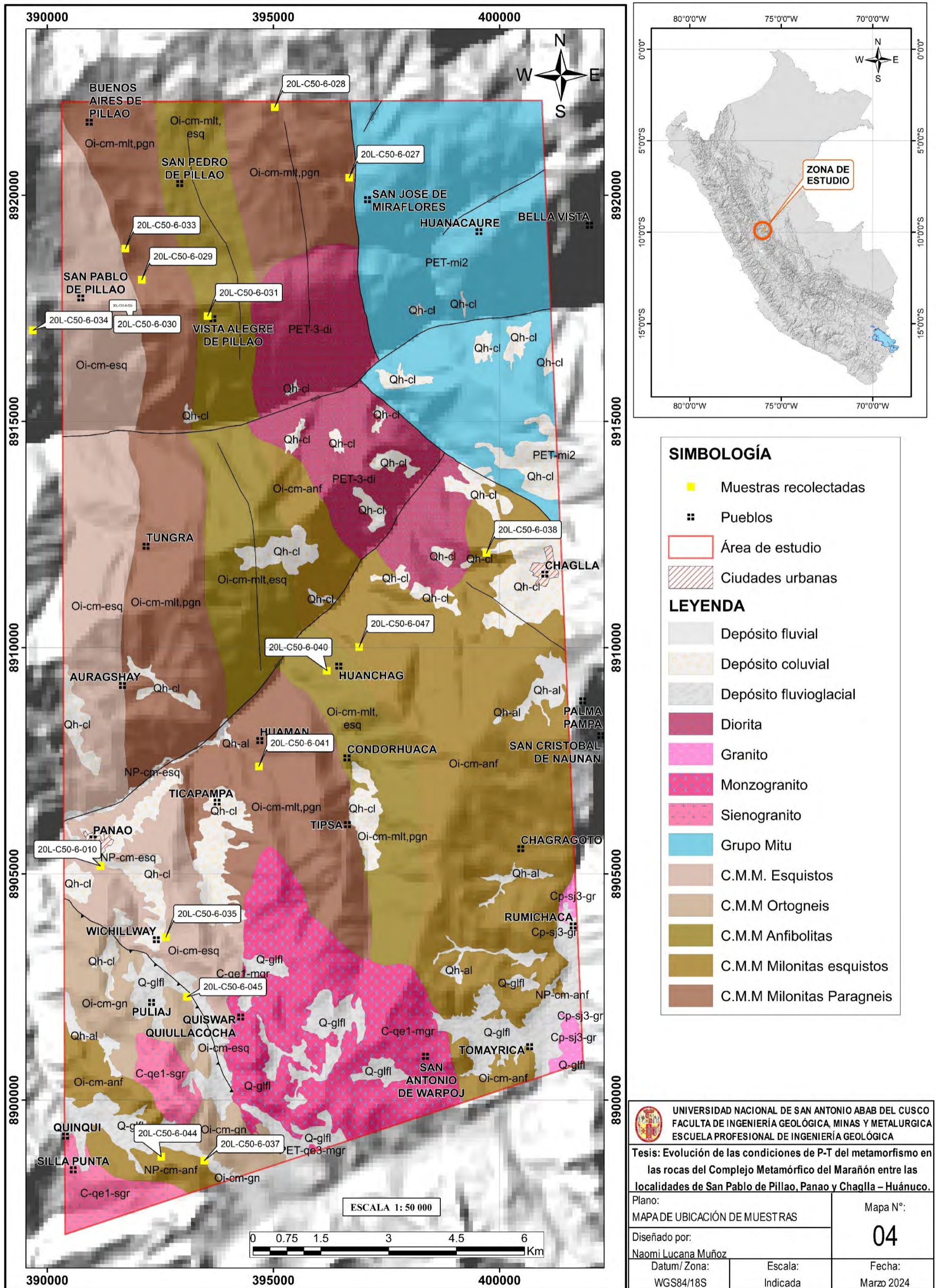
SIMBOLOGÍA

⊘	Pueblos
□	Área de estudio
↔	Anticlinal inferido
↖	Falla inversa
↗	Falla dextral
↙	Falla sinistral
—	Falla con movimiento indefinido
—	Lineamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
Tesis: Evolución de las condiciones de P-T del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla – Huánuco.		
Plano: MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL Y MAGMÁTICO	Mapa N°: 03	
Diseñado por: Naomi Lucana Muñoz		
Datum/ Zona: WGS84/18S	Escala: Indicada	Fecha: Marzo 2024

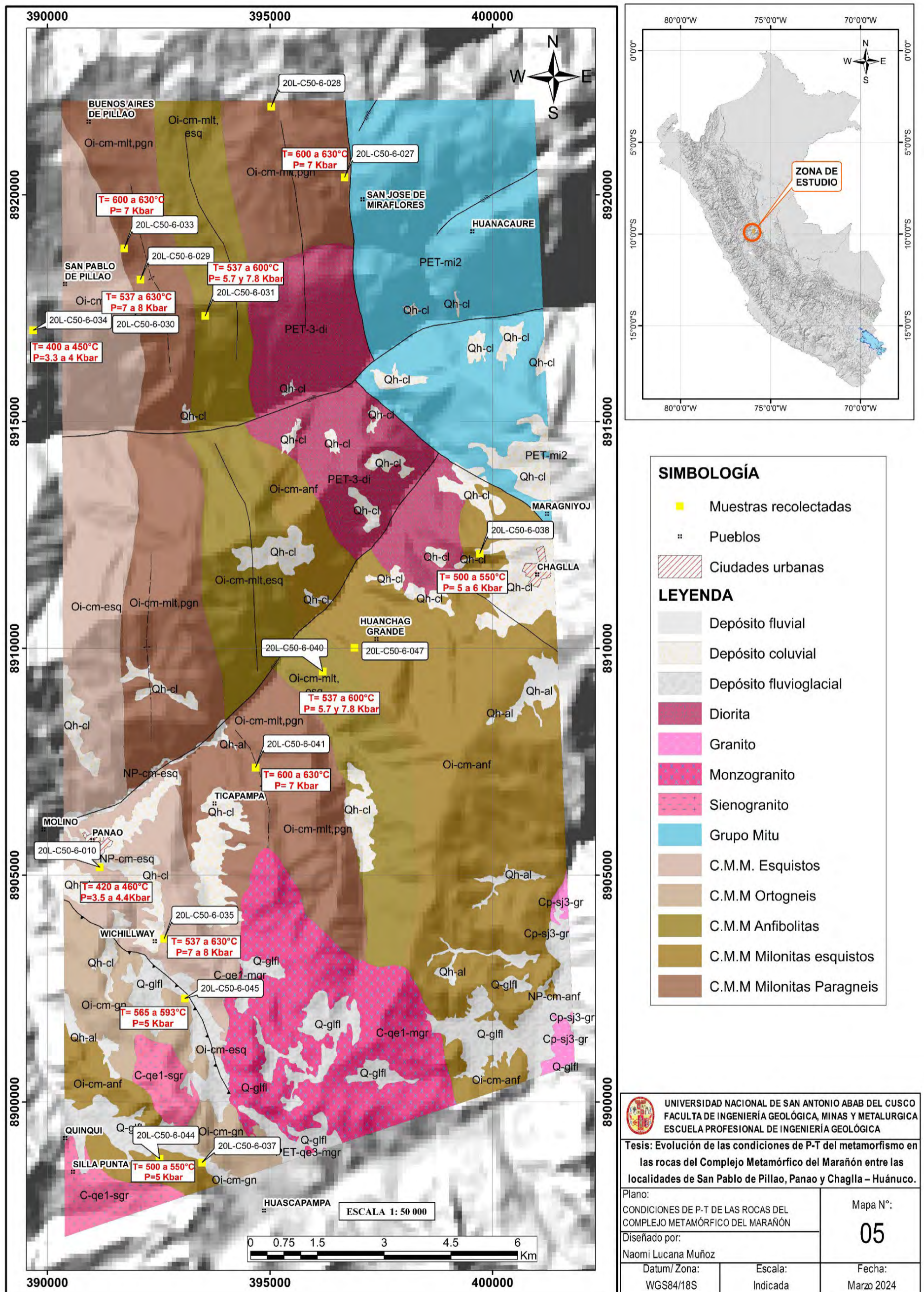


Anexo 5. Mapa de ubicación de muestras





Anexo 6. Mapa de condiciones de P-T del Complejo Metamórfico del Marañón





Anexo 7. Matriz de consistencia

EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES DE P-T DEL METAMORFISMO EN LAS ROCAS DEL COMPLEJO METAMÓRFICO DEL MARAÑÓN ENTRE LAS LOCALIDADES DE SAN PABLO DE PILLAO, PANAÓ Y CHAGLLA – HUÁNUCO.					
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	BÁSES TEÓRICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	
¿Cuál es la evolución de las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?	Determinar la evolución de las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.	Existe una evolución en las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo en las rocas del Complejo del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.	Nomenclatura de rocas metamórficas. Protolito Grado metamórfico Minerales Índice Facies metamórficas Trayectorias de Presión-Temperatura-tiempo. Milonitas	Composición mineralógica Textura de la roca	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	ANTECEDENTES	VARIABLE DEPENDIENTE	
1. ¿Cuáles son las asociaciones minerales que nos permitirán estimar las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?	1. Determinar las asociaciones minerales para estimar las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.	1. Las distintas asociaciones minerales de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla permitirán estimar las condiciones de temperatura y presión del metamorfismo.	De la Cruz et al. (1996). Geología de los cuadrángulos de Aguaytía, Panao y Pozuzo. Hoja: 19-I, 20-I, 21. INGEMMET. Cardona, A. (2006). Reconhecimento da evolução tectónica da proto-margem andina do centro-norte peruano, baseada em dados geoquímicos e isotópicos do embasamento da Cordilheira Oriental na região de Huánuco-La Unión. Universidad de Sao Paulo.		Descriptivo
2. ¿Cuáles son las facies y grado metamórfico al que pertenecen las rocas del Complejo metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?	2. Determinar las facies y grado metamórfico de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.	2. Las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla presentan distintas facies y grados metamórficos.	Patiño, C. (2021). Caracterización petrográfica y litogeoquímica de rocas metamórficas entre los paralelos 4° 52' S Y 4° 59' S (Dominio Olmos - Loja) en el norte del Perú. Universidad Nacional de San Agustín. Soaña, J. (2009). Estudio petrográfico y geoquímico del Complejo Marañón en los departamentos de Amazonas y La Libertad. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].	Condiciones de P-T	
3. ¿Cuáles son las curvas de presión, temperatura y tiempo que explicarán la evolución del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla?	3. Realizar curvas de presión, temperatura y tiempo para explicar la evolución de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.	3. Las curvas de presión, temperatura y tiempo permitirán explicar la evolución del metamorfismo de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón entre las localidades de San Pablo de Pillao, Panao y Chaglla.	Gonzales, P., & Cábana, M. (2006). Mineralogía y trayectoria textural de anfíbolitas de la Sierra de Bachicha, Sistema de Tandilia. Buenos Aires. Valdielly S. et al. (2020). Metamorphic evolution of metasedimentary rocks of the Feira Nova region: Tectonic implications for the Brasileiro Orogeny in eastern Borborema Province, Northeast Brazil, Journal of South American Earth Sciences		