

**PETROGRAFÍA DE LAS METASEDIMENTITAS AFLORANTES AL SURESTE
DE MOGOTES, SANTANDER**

DIANA YORLEY CAMACHO RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2017

**PETROGRAFÍA DE LAS METASEDIMENTITAS AFLORANTES AL SURESTE
DE MOGOTES, SANTANDER**

DIANA YORLEY CAMACHO RODRÍGUEZ

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Geóloga

**DIRECTOR:
CARLOS ALBERTO GARGÍA RAMÍREZ
PhD en Geología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2017



AGRADECIMIENTOS

- Universidad Industrial de Santander.
- Laboratorio de Rayos X del Parque Tecnológico Guatiguará, adscrito a la vicerrectoría de investigación y extensión de la Universidad Industrial de Santander.
- Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA).
- Laboratorio de preparación de muestras de la escuela de geología de la Universidad Industrial de Santander y, principalmente a Luis Eduardo Garrido por su amena ayuda durante parte del proceso.
- Al profesor Carlos Alberto García por su paciencia, su valiosa ayuda y por todo el conocimiento impartido pedagógicamente durante las asignaturas a su cargo, el cual consolidó una parte importante de mi formación académica y, sentó los fundamentos para la realización del presente trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	18
1. OBJETIVOS.....	22
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2. GENERALIDADES.....	23
2.1 LOCALIZACIÓN.....	23
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	27
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	28
4. ANTECEDENTES.....	33
5. METODOLOGÍA.....	41
5.1 FASE DE PRECAMPO.....	41
5.2 FASE DE TRABAJO DE CAMPO.....	42
5.3 FASE DE LABORATORIO.....	42
5.3.1 Descripción de las muestras de mano.....	44
5.3.2 Petrografía.....	44
5.3.3 Difracción de rayos X.....	45
5.4 FASE DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45

6. MUESTRAS DE MANO Y PETROGRAFÍA	46
6.1 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 1-1)	46
6.2 FILITA CUARZOSA (MUESTRA PMOG 2-1)	56
6.3 METALODOLITA (MUESTRA PMOG 3-1)	61
6.4 ROCA METACARBONATADA (MUESTRA PMOG 3-2).....	70
6.5 METACUARZO ARENITA DE GRANO FINO (MUESTRA PMOG 3-3).....	77
6.6 ARCILLOLITA SHALE FOSILÍFERA (MUESTRA PMOG 3-4).....	83
6.7 LODOLITA ARENOSA (MUESTRA PMOG 4-1).....	84
6.8 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 5-1)	84
6.9 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 5-2)	92
6.10 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 6-1)	99
6.11 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 6-3)	108
6.12 PIZARRA (MUESTRA PMOG 7-1)	108
7. DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	110
8. METAMORFISMO	113
8.1 ROCAS DE TIPO COMPOSICIONAL PELÍTICO	115
8.1.1 Filitas pelíticas.	115
8.1.2 Metalodolita (PMOG 3-1).	117
8.2 ROCAS DE TIPO COMPOSICIONAL CUARZOFELDESPÁTICO	118
8.2.1 Filita cuarzosa (PMOG 2-1).	118
8.2.2 Metacuarzoarenita (PMOG 3-3).	118
8.3 ROCAS DE TIPO COMPOSICIONAL CARBONATADO	119
8.3.1 Roca metacarbonatada (PMOG 3-2).	119
8.4 OTRAS MUESTRAS.....	120
8.4.1 Arcillolita Shale (PMOG 3-4).	120
8.4.2 Lodolita Arenosa (PMOG 4-1).	120

8.4.3 Pizarra (PMOG 7-1).....	120
9. DISCUSIÓN.....	122
10. CONCLUSIONES.....	127
11. RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS.....	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio ubicada dentro del cuadrángulo I-12 e I-13	20
Figura 2. Área de estudio ubicada dentro la plancha 136 – Málaga	21
Figura 3. Localización del municipio de Mogotes en el mapa de división política del territorio.....	23
Figura 4. Localización de la zona de estudio, dentro de la plancha 136 Málaga ..	24
Figura 5. Ubicación de las estaciones en imágenes satelitales.	25
Figura 6. Marco tectónico del Macizo de Santander	29
Figura 7. Afloramiento y muestra de mano, filita pelítica (PMOG 1-1).	47
Figura 8. Epidota y óxidos, filita pelítica (PMOG 1-1).	53
Figura 9. Texturas y estructuras, filita pelítica (PMOG 1-1)	54
Figura 10. Familias de venas, filita pelítica (PMOG 1-1).....	55
Figura 11. Afloramiento y muestra de mano, filita cuarzosa (PMOG 2-1).	56
Figura 12. Textura y estructuras, filita cuarzosa (PMOG 2-1).....	60
Figura 13. Textura, filita pelítica (PMOG 2-1)	61
Figura 14. Afloramiento y muestra de mano, metalodolita (PMOG 3-1).	62
Figura 15. Texturas y estructuras, metalodolita (PMOG 3-1).....	67
Figura 16. Algunos minerales, metalodolita (PMOG 3-1).....	68
Figura 17. Estructuras, metalodolita (PMOG 3-1).....	69
Figura 18. Afloramiento y muestra de mano, roca metacarbonatada (PMOG 3-2)	70
Figura 19. Diagrama para la clasificación de rocas metacarbonatadas o afines aplicado a la muestra metacarbonatada identificada como PMOG 3-2	73
Figura 20. Texturas y estructuras, roca metacarbonatada (PMOG 3-2)	75
Figura 21. Estructuras y algunos minerales, roca metacarbonatada (PMOG 3-2).	76
Figura 22. Afloramiento y muestra de mano, meta(?)cuarzoarenita de grano fino (PMOG 3-3).	78
Figura 23. Texturas y estructuras, metacuarzoarenita (PMOG 3-3)	81
Figura 24. Algunos minerales, metacuarzoarenita (PMOG 3-3)	82

Figura 25. Arcillolita shale fosilífera (PMOG 3-4).....	83
Figura 26. Afloramiento y muestra de mano, lodolita arenosa (PMOG 4-1)	85
Figura 27. Afloramiento y muestra de mano, filita pelítica (PMOG 5-1).....	86
Figura 28. Textura y estructuras, filita pelítica (PMOG 5-1).....	90
Figura 29. Estructuras en filita pelítica (PMOG 5-1).....	91
Figura 30. Afloramiento y muestra de mano, filita pelítica (PMOG 5-2).....	92
Figura 31. Texturas y estructuras, filita pelítica (PMOG 5-2)	97
Figura 32. Estructuras, filita pelítica (PMOG 5-2).....	98
Figura 33. Muestra de mano, filita pelítica (PMOG 6-1).....	99
Figura 34. Textura y estructuras, filita pelítica (PMOG 6-1)	105
Figura 35. Venas de la familia 1, filita pelítica (PMOG 6-1)	106
Figura 36. Venas de la familia 2, filita pelítica (PMOG 6-1)	107
Figura 37. Principales características en muestra de mano de las muestras: filita pelítica (PMOG 6-3) y pizarra (PMOG 7-1).....	109
Figura 38. Ubicación de los litotipos en el terreno	122
Figura 39. Impresiones fósiles.	124

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Compendio de algunos de los datos que sustentan la división de la Formación Silgará (según Mantilla, García y Valencia)	37
Cuadro 2. Fases del proyecto	41
Cuadro 3. Listado y datos de las muestras recolectadas.....	43
Cuadro 4. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 1-1)	50
Cuadro 5. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita cuarzosa (PMOG 2-1).....	59
Cuadro 6. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales en la metalodolita (PMOG 3-1).....	65
Cuadro 7. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la roca metacarbonatada (PMOG 3-2).....	73
Cuadro 8. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de metacuarzoarenita (PMOG 3-3).....	80
Cuadro 9. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 5-1).....	89
Cuadro 10. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 5-2).....	95
Cuadro 11. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 6-1).....	103
Cuadro 12. Resultados del análisis cualitativo de facies por DRX.....	111
Cuadro 13. Agrupación de las muestras para efectos de la descripción del grado de metamorfismo.....	115
Cuadro 14. Compendio de algunas características de las rocas estudiada de tipo composicional pelítico.....	116
Cuadro 15. Grado de metamorfismo determinado para las muestras estudiadas	121

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Composición mineralógica de las muestras.	137
Anexo B. Informe de resultados de difracción de rayos x [Archivo .pdf]	138

ABREVIATURAS

Las abreviaturas minerales utilizadas en éste trabajo corresponden a las propuestas por la **Subcomisión sobre Sistemática de Rocas Metamórficas**¹ (SCMR, por sus siglas en inglés) de la *International Union of Geological Sciences* (IUGS). Estas y otras abreviaturas usadas son listadas y descifradas a continuación.

ABREVIATURA	MINERAL
Ab	Albita
Cal	Calcita
Chl	Clorita
Clc	Clinocloro
Crs	Cristobalita
Ep	Epidota
Grt	Granate
Ill	Illita
Kfs	Feldespato Potásico
Mag	Magnetita
Mnt	Montmorillonita
Ms	Muscovita
Op	Mineral Opaco
Or	Ortoclasa
Ox	Óxidos [minerales del grupo de los óxidos]
Pl	Plagioclasa
Py	Pirita

ABREVIATURA	MINERAL
Qtz	Cuarzo
Rt	Rutilo
Sd	Siderita
Sep	Sepiolita
Tr	Tremolita
Zrn	Zircón
ABREVIATURA	UBICACIONES GEOGRÁFICAS
CO	Cordillera Oriental
M-C-T	Matanza-Cachirí-Turbay [una de las franjas en la cual aflora la Formación Silgará]
MS	Macizo de Santander
SE	Sureste
ABREVIATURA	NOMBRE
der.	Derecha(o)
DRX	Difracción de rayos X

¹ SIIVOLA, Jaakko & SCHMID, Rolf. List of Mineral Abbreviations. En: FETTER, D. & DESMONS, J. (eds.). *Metamorphic Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rock*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. pp. 93-110. ISBN 978-0-521-33618-5. Disponible en: Biblioteca central, Universidad Industrial de Santander. Parcialmente disponible en línea: <https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf>.

ABREVIATURA	NOMBRE
F1	Familia de venas 1
F2	Familia de venas 2
FF	Formación Floresta
FFM	Formación Floresta Metamorfoseada
FM	Formación Mogotes
FR	Fragmentos de roca
FS	Formación Silgará
GIGBA	Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada
HCL	Ácido clorhídrico
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IUGS	International Union of Geological Sciences
izq.	Izquierda(o)
KI	Kübler Index [Índice de Kübler]
PPL	Plane polarized light [Luz polarizada plana]
Ma	Millones de años
MR	Metamorfismo regional
P-T	Presión-Temperatura
SCMR	The Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks [Subcomisión sobre Sistemática de rocas metamórficas]

ABREVIATURA	NOMBRE
SD	Sección delgada
SDP	Sección delgada pulida
SEM	Scanning Electron Microscopy [Microscopio electrónico de barrido]
TEM	Transmission Electron Microscopy [Microscopio electrónico de transmisión]
UES	Unidad Esquistos del Silgará
UFSP	Unidad Filitas de San Pedro
UNB	Unidad Néis de Bucaramanga
UO	Unidad Ortonéis
XPL	Cross polarized light [Luz polarizada plana]

RESUMEN

TÍTULO: PETROGRAFÍA DE LAS METASEDIMENTITAS AFLORANTES AL SURESTE DE MOGOTES, SANTANDER*

AUTORA: CAMACHO RODRÍGUEZ DIANA YORLEY**

PALABRAS CLAVE: Petrografía, Metasedimentitas, Macizo de Santander, Filitas de San Pedro.

DESCRIPCIÓN:

A través de microscopía óptica de luz transmitida, junto con un análisis cualitativo de fases minerales por DRX, se estudió una sección de las rocas aflorantes en la vía que comunica las cabeceras municipales de Santa Bárbara de Mogotes y San Joaquín, con el objetivo de realizar su caracterización. En orden de abundancia, se identificaron metasedimentitas de composición: (1) pelítica (filitas pelíticas y metalodolitas), (2) cuarzofeldespática (filita cuarzosa y metacuarzoarenita) y (3) carbonatada; cuyas características indican condiciones de metamorfismo de muy bajo a bajo grado, determinadas con base en las características texturales, estructurales y composicionales. En general, se observaron las siguientes asociaciones minerales: Qtz+Ms+Chl/Clc, Pl+Ms+Chl/Clc, Qtz+Cal+Ep, Chl+Cal+Qtz, Ms+Cal+Qtz y Ms+Tr+Cal.

Asimismo, en esta zona se obtuvieron pizarras que presentan un clivaje de pizarrosidad subperpendicular al plano de estratificación (S0), éstas han sido consideradas por algunos autores como pertenecientes a Formación Floresta Metamorfoseada. Adicionalmente, en el sector afloran arcillolitas shale con una naturaleza claramente sedimentaria y, lodolitas arenosas cuyo contenido de Montmorillonita puede indicar un grado muy bajo de metamorfismo.

Los contactos entre las litologías estudiadas no fueron determinados con claridad. Esta región presenta un alto grado de actividad tectónica, evidenciado por la existencia de numerosas fracturas. Una densa población de venas fue observada en las muestras. Éste trabajo pretende aportar datos que puedan ser usados para mejorar el conocimiento de la geología de la zona a escala local y que podrían contribuir en pequeña magnitud, al entendimiento de la historia tectonometamórfica del Macizo de Santander.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto García R.

ABSTRACT

TITLE: PETROGRAPHY OF THE METASEDIMENTITES THAT OUTCROPS ON THE SOUTH-ESTE OF MOGOTES, SANTANDER*

AUTHOR: CAMACHO RODRÍGUEZ DIANA YORLEY**

KEY WORDS: Petrography, Metasedimentites, Santander Massif, San Pedro Phyllites.

DESCRIPTION:

Through transmitted light microscopy, along with X-Ray diffraction qualitative phase analysis, a section of the outcropping rocks in the road that connects the municipalities of Mogotes and San Joaquin was studied with the aim of characterizing them. In order of abundance, were identified metasedimentites whose compositional type is: (1) pelitic (pelitic phyllites and metamudstones), (2) quartz-feldspathic (quartz phyllite and meta-quartz sandstone) y (3) carbonate; whose characteristics indicate very low to low grade metamorphism conditions that were established based on textual, structural y compositional features. In general, the mineral associations observed are: Qtz+Ms+Chl/Clc, Pl+Ms+Chl/Clc, Qtz+Cal+Ep, Chl+Cal+Qtz, Ms+Cal+Qtz y Ms+Tr+Cal.

Similarly, in this area were obtained slates that develops a slaty cleavage subperpendicular to the stratification plane (S₀); these rocks have been considered by some authors as belonging to Metamorphosed Forest Formation. Additionally, claystone with a clearly sedimentary nature outcrops in this sector, together with sandy mudstones whose Montmorillonite content may indicate a very low grade of metamorphism.

The contacts between the studied lithologies were not clearly determined. This region has a high degree of tectonic activity, evidenced by the existence of a wide number of fractures. A dense population of veins was observed in the samples. This research intends to provide data that can be used to improve knowledge of the geology of the area at local level and, contributing in small magnitude to the understanding of the tectono-metamorphic evolution of the Santander Massif.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Carlos Alberto García Ramírez

INTRODUCCIÓN

A pesar de su relativa abundancia en la corteza terrestre, las rocas con bajo a muy bajo grado de metamorfismo no suelen ser tan atractivas para gran parte de los geólogos, aun cuando en este campo no se requieren exclusivamente a petrólogos metamórficos, ya que de cierta manera es una zona de transición en la que converge el conocimiento de aquellos dedicados a estudiar cualquiera de los tres tipos de rocas, tal y como es resaltado años atrás por ROBINSON, D. & MERRIMAN ²

A diferencia de las rocas con mayor grado de metamorfismo aflorantes dentro del Macizo de Santander (Formación Bucaramanga, Esquistos del Silgará y Ortonéis), las investigaciones acerca de las metasedimentitas reportadas en esta provincia litotectónica son escasas; su estudio se ha iniciado recientemente con la finalidad de aportar información sobre un segmento escasamente conocido de la evolución tectonometamórfica del Macizo. Las muestras aquí tratadas fueron recolectadas a lado y lado del contacto trazado por Ward *et al.*³, entre las clásicas Formaciones Silgará y Floresta (Figura 1), zona que posteriormente, en la plancha 136-Málaga⁴, es definida como perteneciente a la Formación Floresta Metamorfoseada (Figura 2); éstas dos publicaciones cartográficas fueron realizadas a escala regional, de ahí que, partiendo de los resultados a escala local obtenidos en el presente estudio, es posible solventar algunas de las ambigüedades vigentes sobre las litologías aflorantes en éste sector, ubicado en el departamento de Santander, en

² ROBINSON, D. & MERRIMAN, R. Low-temperature metamorphism: an overview. En: FREY, Martin & ROBINSON, Doug (eds.). Low-Grade Metamorphism. Blackwell Science Ltd., 1999, p. 1.

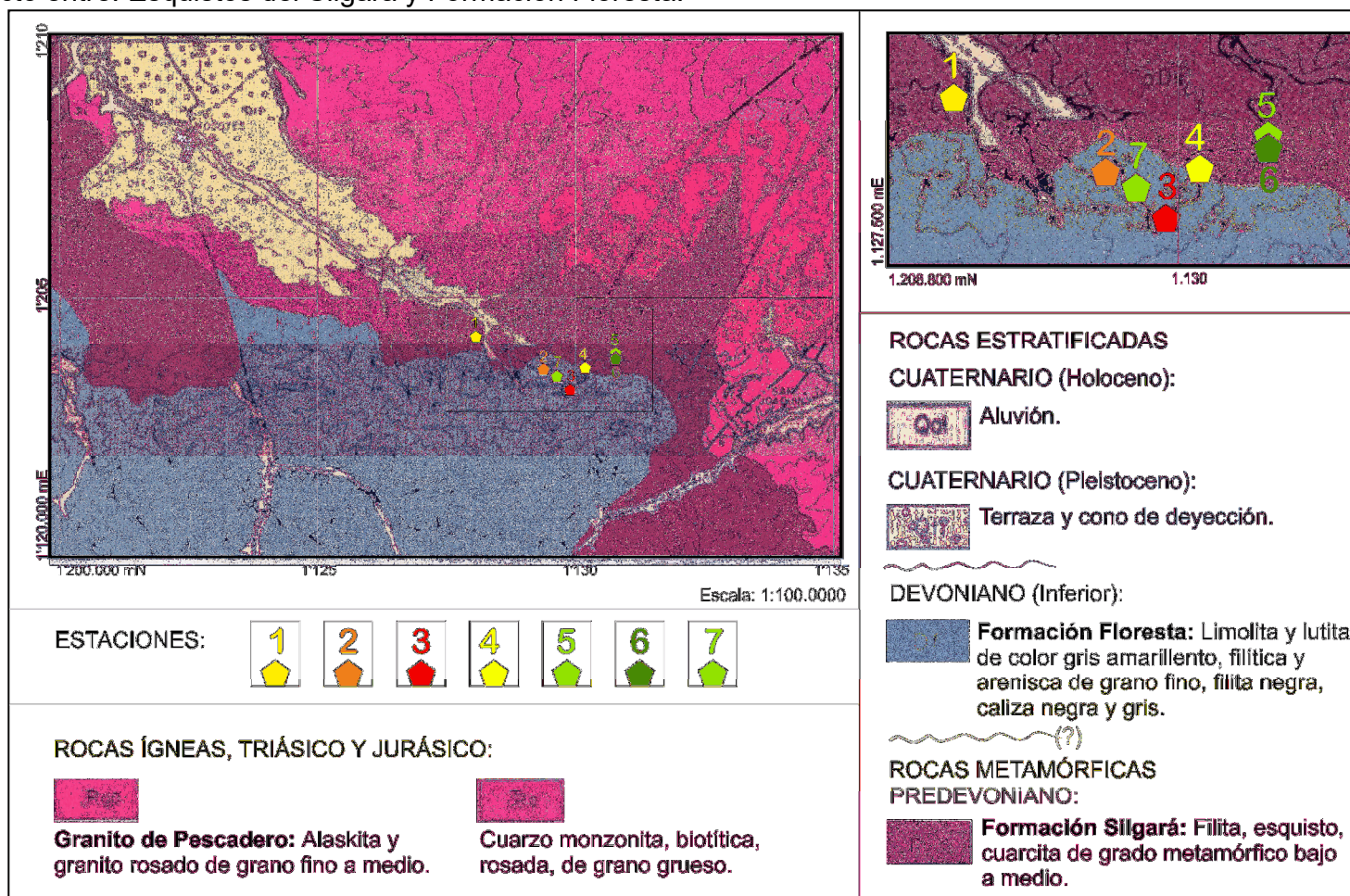
³ WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; TELLEZ, N. y JARAMILLO, Luis. Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000. INGEOMINAS [hoy SGC] en cooperación con U.S. Geological Survey. 1977.

⁴ VARGAS, Rodrigo; ARIAS, Alfonso; JARAMILLO, Luis y TELLES, Noél. Geología de la Plancha 136 Málaga. transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013 [Mapa]. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 1987. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en: <http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>

inmediaciones de la cabecera municipal de Mogotes y San Joaquín, a lo largo del carreteable que los comunica.

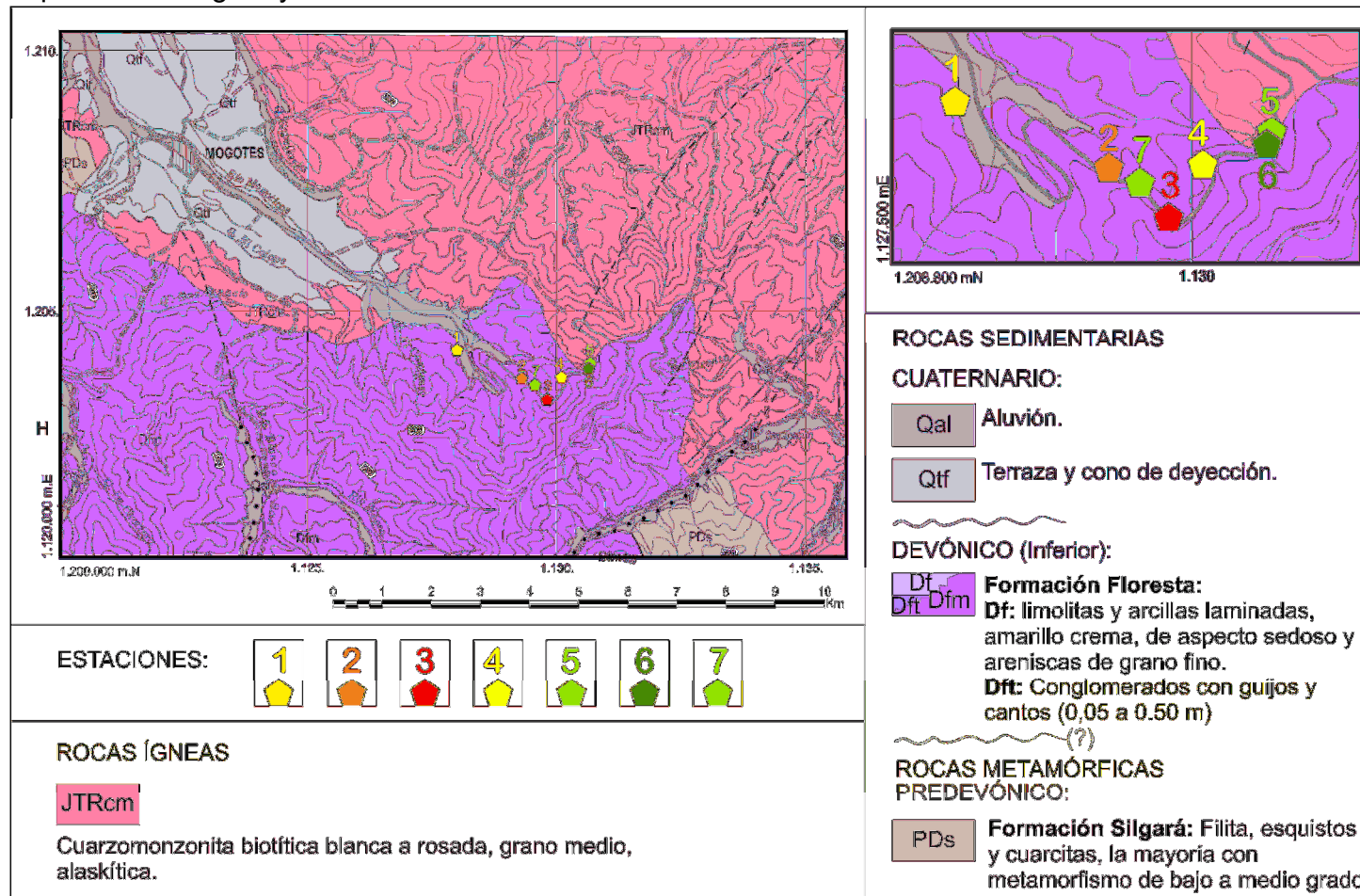
Las muestras que fueron objeto de éste trabajo de grado, se analizaron con base a aspectos como: composición, paragénesis (cuando es aplicable), textura y estructura en muestra de mano y en lámina delgada (especialmente), además de un análisis cualitativo de la composición a través de difracción de rayos X; infortunadamente, los datos obtenidos bajo ésta escala y/o métodos instrumentales, no permiten discriminar con certeza si algunas de aquellas muestras clasificadas claramente como metasedimentitas pertenecen al grado de metamorfismo bajo o muy bajo, no obstante, sí permiten realizar una mejor caracterización de las mismas, representando una fuente de información básica para futuros investigadores.

Figura 1. Área de estudio ubicada dentro del cuadrángulo I-12 e I-13. Según esta cartografía, la zona involucra el contacto entre: Esquistos del Silgará y Formación Floresta.



Fuente: modificado por autor, tomado de: WARD, D.; GOLDSMITH, R.; CRUZ, J.; TELLEZ, N. y JARAMILLO, L. Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 e I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000. INGEOMINAS-U.S. Geological Survey. 1977.

Figura 2. Área de estudio ubicada dentro la plancha 136 – Málaga. Según esta cartografía, la zona involucra el contacto entre: Esquistos del Silgará y Formación Floresta Metamorfoseada.



Fuente: modificado por autor, tomado de: VARGAS, Rodrigo; ARIAS, Alfonso; JARAMILLO, Luis y TELLES, Noél. Geología de la Plancha 136 Málaga. transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 1987.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización petrográfica de las metasedimentitas aflorantes al Sureste de Mogotes-Santander, Macizo de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

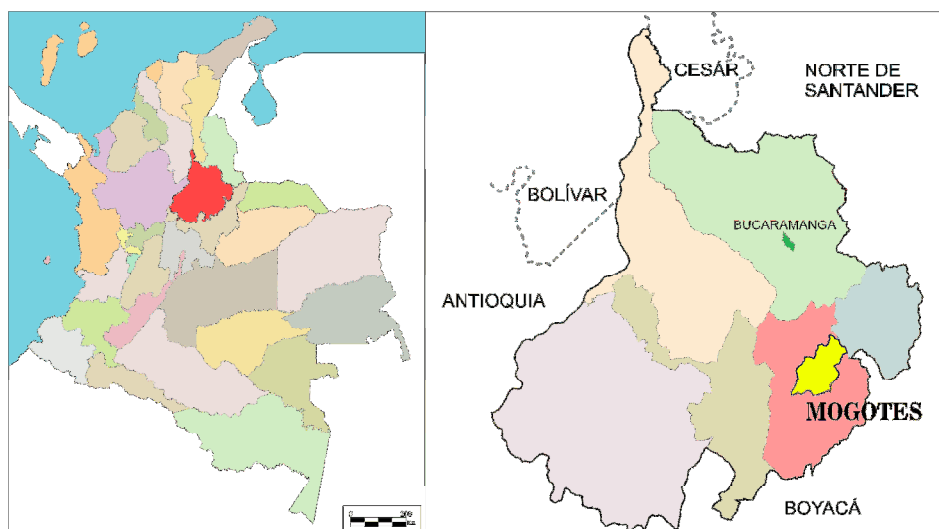
- Estudiar los rasgos composicionales, texturales y estructurales de las rocas aflorantes.
- Determinar los litotipos presentes.
- Analizar las condiciones de metamorfismo mediante estudios paragenéticos y texturales.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

Geográficamente, el área de estudio se ubica al Oriente Colombiano, en el Departamento de Santander, provincia Guanentá, en jurisdicción del Municipio de Santa Bárbara de Mogotes (Figura 3), cuya cabecera municipal se sitúa a aproximadamente 121 Km de Bucaramanga, ciudad capital del Departamento y a 340 Km Santa Fe de Bogotá, distrito capital del país; limita con los Municipios de Molagavita y Curití por el Norte, San Joaquín por el Oriente, con Curití, San Gil y valle de San José por el Occidente y con los municipios de Ocamonte, Charalá y Coromoro por el Sur. La zona se caracteriza por la predominancia de relieves fuertes y una activa historia tectónica. Forma parte del Macizo de Santander, en la Cordillera Oriental (CO), uno de los ramales del sistema orogénico de los andes.

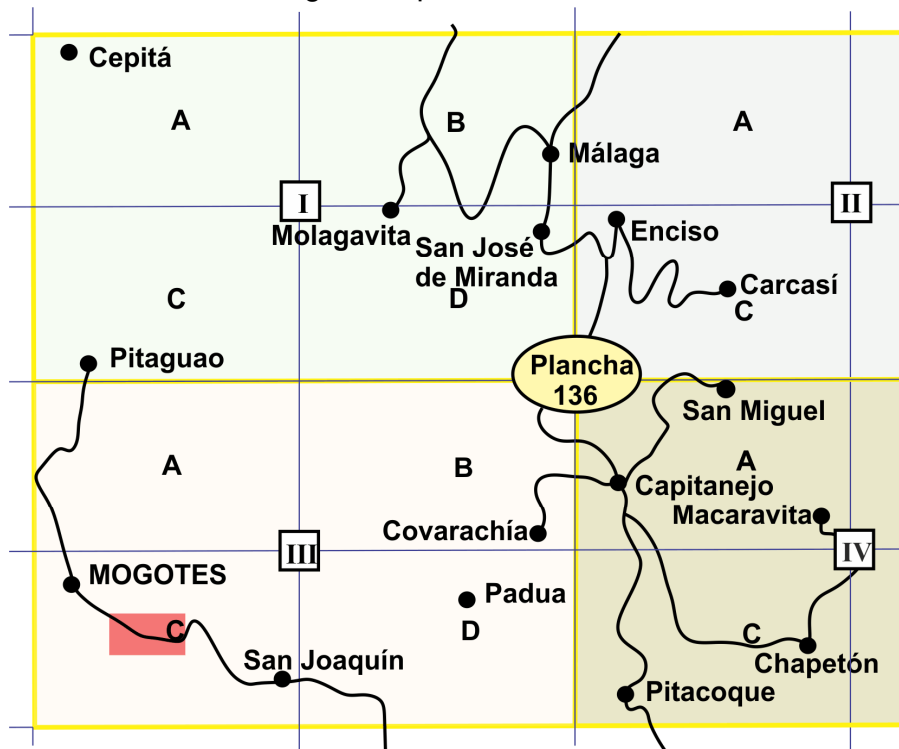
Figura 3. Localización del municipio de Mogotes (demarcado en color amarillo) en el mapa de división política del territorio.



Concretamente, se encuentra dentro del cuadrángulo I-13 Málaga, en la sección inferior de la plancha 136-III-C (Figura 4), entre las coordenadas planas de origen Bogotá:

X: 1'203.000 a **X:**1'250.000 y **Y:**1'128.000 a **Y:**1'140.000.

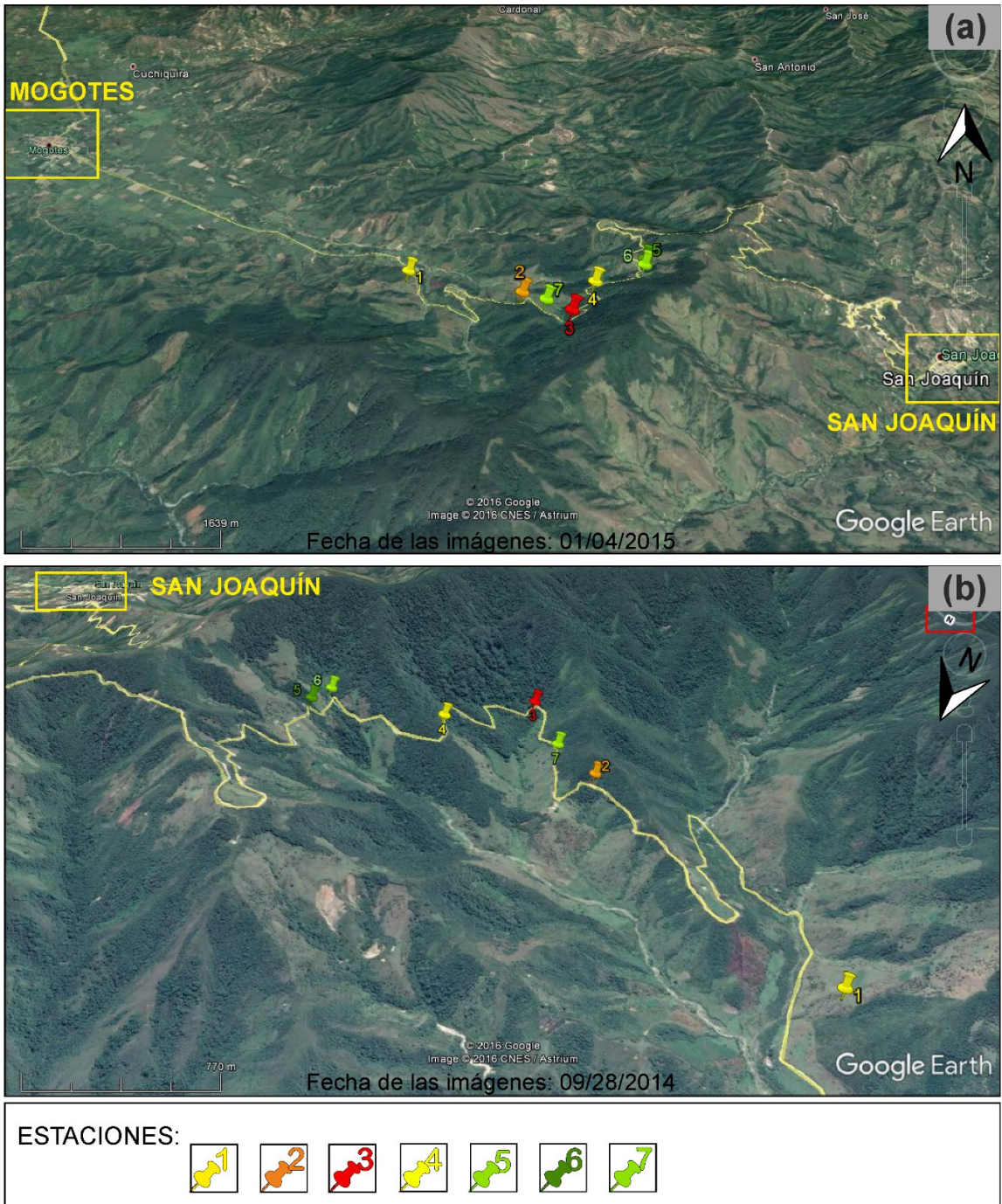
Figura 4. Localización de la zona de estudio, dentro de la plancha 136 Málaga; el área es demarcada de forma general por un recuadro rosado.



Fuente: Modificado por autor, tomado de: WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; JARAMILLO, C. y RESTREPO, Hernán. Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, departamento de Santander. U.S. Geological Survey e INGEOMINAS. Boletín Geológico [servicio Geológico Colombiano]. 1973, vol. 21, nro. 1-3, pp. 7, Fig. 2.

La *Figura 5* permite visualizar sobre el terreno, la ubicación de las estaciones realizadas en este trabajo de grado.

Figura 5. Ubicación de las estaciones en imágenes satelitales.



Fuente: modificado por autor, tomado de: programa informático Google Earth, las imágenes satelitales son proveídas a éste por Astrium services y la agencia gubernamental francesa: Centro nacional de estudios espaciales (CNES, por sus siglas en francés).

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al sureste (SE) de Mogotes afloran metasedimentitas cuya relación con las unidades metamórficas del Macizo de Santander (MS) es poco clara. Éste tipo de litologías ha sido reportado por: Ward *et al.*⁵, Royero y Clavijo⁶, Moreno, Gómez y Castillo⁷ y, Mantilla, García y Valencia⁸ en diferentes sectores del MS. Consisten en filitas, pizarras, pizarras grafitosas, cuarcitas y metaconglomerados. Ward *et al.*⁹, han cartografiado algunas de éstas litologías como parte de la Formación Silgará y han incluido otras dentro de la Formación Floresta (Figuras 1 y 2), sin embargo, las características de ésta rocas no permiten establecer con exactitud su pertenencia a alguna de las dos unidades; por dicha razón, aún permanecen interrogantes relacionados con: la clasificación, la ubicación espacial y temporal, condiciones P-T del metamorfismo y eventos de formación; para resolver tales cuestiones es necesario realizar diversos análisis y, aunque recientemente se ha producido un avance considerable en cuanto al conocimiento de éstas litologías gracias a los trabajos de Mantilla, García y Valencia^{10y11}, aún quedan abiertas algunas preguntas. El presente estudio petrográfico es un aporte a la comprensión de dichas rocas.

⁵ WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; JARAMILLO, C. y RESTREPO, Hernán. Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona... *Boletín Geológico*. 1973, 21(1-3), pp. 1-132.

⁶ ROYERO GUTIÉRREZ, José María y CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado del departamento de Santander. Memoria explicativa del mapa, escala: 1:400.000. INGEOMINAS [Ahora: Servicio Geológico Colombiano]. 2001, pp. 1-71.

⁷ MORENO, Mario; GÓMEZ, Arley de Jesús y CASTILLO, Hadany. La "Formación Floresta Metamorfoseada" (sensu Ward *et al.*, 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. En: Congreso Colombiano de Geología (X: 2005. Julio 26-29: Bogotá). Memorias. Bogotá D.C.: 2005.

⁸ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos, Op Cit.

⁹ WARD *et al.* Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000..., Op Cit.

¹⁰ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos, Op Cit. pp. 33-50.

¹¹ MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA RAMÍREZ, Carlos Alberto y VALENCIA, Víctor A. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander... *Revista Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Abril-junio, 2016, 40(155). pp. 320-336.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Valiosos y numerosos estudios cartográficos, petrográficos, geoquímicos, geocronológicos y estructurales se han adelantado, logrando incrementar el conocimiento acerca de las unidades Néis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará y Ortonéis, siendo éstas las más antiguas del basamento metamórfico cristalino del MS. No obstante, en este macizo también afloran metasedimentitas, principalmente filitas, metarenitas, metawacas y metaconglomerados cuya relación con las demás unidades no está bien definida. Ward *et al.*¹² reportan que los afloramientos de éstas rocas se concentran en dos franjas, la primera, al Oriente de los Batolitos de Mogotes y Santa Bárbara y, la segunda, entre Covarachía y Silos. La mayoría de las exposiciones se ubican en cercanías a la cabecera municipal de Guaca, Mogotes, San Andrés y Molagavita, y a los corregimientos de Baraya y Berlín. La escasa información acerca de estas rocas, que componen la parte más joven del basamento, ha dificultado las correlaciones litológicas, así como la definición de los eventos metamórficos ocurridos, información necesaria para la estructuración de un modelo de evolución geológica más preciso. Por esta razón, el trabajo petrográfico aquí expuesto, con base en análisis texturales, estructurales y paragenéticos, da una luz acerca de algunos aspectos importantes de dichas litologías.

¹² WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13..., Op Cit. pp. 43-44.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Como es descrito por Van Der Lelij, *et al.*¹³, el Macizo de Santander, al igual que los bloques discretos o provincias litotectónicas: Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía del Perijá, basamento del lago Maracaibo y Andes de Mérida; forma parte del bloque Maracaibo, una entidad estructuralmente prominente, triangular, configurada por la compleja interacción entre las placas Caribe, Suramericana y Pacífico (Figura 6). El MS conforma la continuación norte de la CO colombiana, en el sistema orogénico de los Andes; según García *et al.*¹⁴, es un bloque estructuralmente elevado limitado por la falla de Bucaramanga-Santa Marta (FBS) al oeste y por el sistema de fallas Pamplona-Cubogón-Mercedes al este. Su basamento se conforma por un complejo metamórfico dividido clásicamente, es decir, en el sentido de Ward *et al.*¹⁵, en 3 unidades litoestratigráficas: Neis de Bucaramanga, Formación Silgará y Ortonéis; consideradas de edad Pre-Devónico, entre otras razones, por la presencia de rocas sedimentarias de edad Emsiana que suprayacen el complejo sin mostrar señales de metamorfismo, siendo esto reportado por Forero¹⁶.

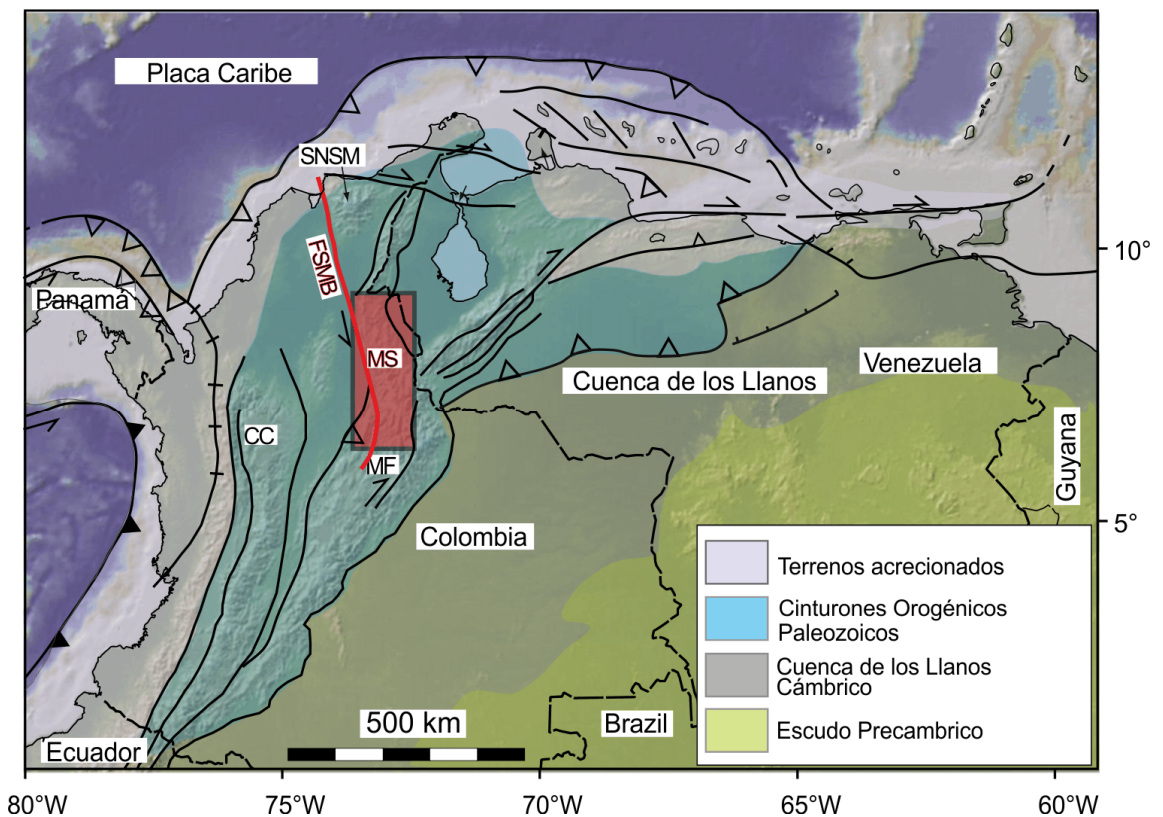
¹³ VAN DER LELIJ, Roelant; SPIKINGS, Richard; ULIANOV, Alexey; CHIARADIA, Massimo & MORA, Andrés. Paleozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*. Febrero, 2015, vol.31, p. 272. Elsevier: Science Direct [base de datos en línea]. Disponible en línea: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2015.01.011>

¹⁴ GARCÍA RAMÍREZ, Carlos Alberto; RÍOS REYES, Carlos Alberto and CASTELLANOS, Oscar. Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*. Julio-diciembre, 2005, vol. 27 nro 2, pp. 44-46.

¹⁵ WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit. pp. 1-132.

¹⁶ FORERO, A. Distribución de las rocas del Devónico en los Andes Colombianos. 1991. Citado por MORENO, Mario; GÓMEZ, Arley de Jesús y CASTILLO, Hadany. La "Formación Floresta Metamorfoseada" (sensu Ward *et al.*, 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. En: Congreso Colombiano de Geología (X: 2005. Julio 26-29: Bogotá). Memorias. Bogotá D.C.: 2005.

Figura 6. Marco tectónico del Macizo de Santander, su ubicación es indicada por el recuadro rosado. SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta; FSMB: Falla Santa Marta Bucaramanga; MS: Macizo de Santander; MF: Macizo de Floresta; CC: Cordillera Central.



Fuente: Modificado por autor, tomado de: VAN DER LELIJ, Roelant; SPIKINGS, Richard; ULIANOV, Alexey; CHIARADIA, Massimo & MORA, Andrés. Paleozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana... *Gondwana Research*. Febrero, 2015, vol.31, p. 272, Fig. 1.

Goldsmith, Marvin & Mehnert¹⁷ presentan dataciones que indican que el basamento es cortado por cuerpos intrusivos paleozoicos a triásico-jurásicos. Actualmente, se han determinado 5 pulsos magmáticos en el MS (sin contar episodios anteriores a

¹⁷ GOLDSMITH, Richard; MARVIN, Richard & MEHNERT, Harald. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Geological Survey Research*. 1971, paper 750, pp. D44-D49.

los eventos de MR) que son recopilados por Mantilla *et al.*¹⁸, además de la presencia de rocas ígneas post-cretácicas, específicamente, del Mioceno tardío (Toroniense) reportadas por éstos autores y que, según Mantilla *et al.*¹⁹ estarían relacionadas con la reactivación de la FBS. Dentro del MS, se presentan metasedimentitas de bajo a muy bajo grado, en su mayoría, con una afinidad poco clara con las unidades clásicas. Como lo indica Mantilla, García y Valencia²⁰, han sido agrupadas en unidades como: Metasedimentitas de Guaca, Metasedimentitas de la Quebrada La Virgen, Floresta Metamorfoseada, Formación Mogotes y Filitas de San Pedro.

Con la finalidad de permitir una mejor contextualización acerca de la geología regional, a continuación, se presenta información con más detalle, referente a las unidades que conforman basamento del MS y algunas unidades suprayacentes.

La Unidad Neis de Bucaramanga (UNB), es la más antigua del basamento ígneo metamórfico del MS. Como es denotado en García, Ríos & Castellanos²¹, se compone por rocas de naturaleza pelítica (neises biotíticos), máfica (neises hornbléndicos, neises biotíticos-hornbléndicos y anfibolitas) y cuarzofeldespática (neises cuarzo feldespáticos y cuarcitas), localmente con presencia de migmatitas; formadas bajo condiciones de alta temperatura y media presión. En cuanto al metamorfismo, generalmente “se le asigna un rango de edad entre el Precámbrico y el Cámbrico”²².

¹⁸ MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos; VALENCIA, Víctor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfiríticos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Santander, Colombia). *Boletín de Geología* [UIS], 2009, 21(1), pp. 39-41.

¹⁹ MANTILLA, Luis; MENDOZA, Hernando; BISSIG, Thomas y CRAIG, Hart. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Micénico en el distrito minera de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología* [UIS], enero-junio, 2011, 33(1), p. 51.

²⁰ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Propuesta de escisión de la denominada ‘Formación Silgará’ (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos, Op Cit. p. 321.

²¹ GARCÍA, RIOS & CASTELLANOS, Op Cit. pp. 46-48.

²² AMAYA FERREIRA, Sergio. Caracterización Petrográfica y Petroológica de los Neises, Migmatitas y Granulitas del Neis de Bucaramanga... Trabajo de grado Magister en Ciencias - Geología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias, 2012, p. 32.

Suprayaciendo la UNB se encuentra la Unidad Esquistos del Silgará (UES), según Amaya²³, aunque ambas muestran diferencias litológicas generales, existen semejanzas importantes, principalmente en la posible sección inferior de la UES; tal contacto no está bien definido y en su mayoría se encuentra cubierto. Fue descrita inicialmente bajo el nombre de *Formación Silgará* como una “secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas, que consta de pizarra, filita, meta-limonita, meta-arenisca impura, meta-waca y meta-waca guijarrosa con menos cantidades de pizarra y filita calcárea”²⁴. De forma más precisa, con base en García, Ríos & Castellanos²⁵ y Ríos, García & Takasu ²⁶, la UES se compone de Rocas pelíticas (mica-esquistos feldespáticos y mica-esquistos), semipelíticas (esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos mica-cuarzosos, cuarcitas feldespáticas y cuarcitas mica-feldespáticas), máficas (esquistos anfíbolíticos y esquistos biotíticos-anfíbolíticos) y Carbonatadas a calcosilicatadas (mármol y granofelsas). Recientemente Mantilla, García y Valencia²⁷ han propuesto su incisión en 3 unidades (Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro), principalmente con base en diferencias en litología, grado de metamorfismo y edad máxima de depositación del protolito en cada una de las secciones estudiadas.

²³ *Ibíd.*, p 32.

²⁴ WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit. pp. 15-21.

²⁵ GARCÍA, RÍOS & CASTELLANOS, Op Cit. pp. 46-48.

²⁶ RÍOS REYES, Carlos Alberto; GARCÍA RAMIREZ, Carlos Alberto; TAKASU, A. Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation Metamorphic rocks... *Journal of South American Earth Sciences*. Junio, 2003, 16(2), pp. 135-139. Elsevier: Science Direct [base de datos en línea]. Disponible en línea: [http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00025-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00025-7) [accesible a través de: base de datos, Biblioteca central UIS].

²⁷ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Propuesta de escisión de la denominada ‘Formación Silgará’ (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos, Op Cit. pp. 33-50.

Como describe Rey León²⁸, la Unidad Ortonéis (UO) se compone por cuerpos de magmas ácidos emplazados de forma sintectónica con la UES, principalmente al tiempo del pico de metamorfismo de ésta última durante el Ordovícico temprano, evento relacionado con la Orogenia Fammatiniana principal; los cuerpos con foliación débil o estructura masiva pudieron emplazarse durante el Ordovícico Tardío-Silúrico Superior, relacionándose con la Orogenia Fammatiniana Menor. Litológicamente, está conformado por metabasitas (neis hornbléndico y anfibolita), metapelitas (neis biotítico, neis muscovítico y neis biotítico son sillimanita o magnetita) y rocas cuarzofeldespáticas, distribuidas en diferentes sectores del MS. Presenta metamorfismo regional (MR) que alcanzó las facies Anfibolita, zonas de la Estaurolita-Cianita y Sillimanita. El contacto entre ésta unidad y la UES es intrusivo.

Ascendiendo estratigráficamente está la Formación Floresta Metamorfoseada (FFM) y la Formación Floresta (FF). La primera suprayace en algunos sectores a la UES, aunque el contacto entre éstas dos unidades no es claro; Ward *et al.*²⁹ la definió como una secuencia de rocas ligeramente metamorfoseada compuestas de conglomerados, argilitas grises, metalimolitas calcáreas, mármol gris claro y mármol gris fosilífero aflorantes entre Mogotes y San Joaquín, incluyendo, además, filitas pizarrosas y mármoles aflorantes en el flanco este del batolito de Santa Bárbara y al norte de la Falla de Bucaramanga. La FFM es redefinida por Moreno, Gómez y Castillo³⁰ como *Formación Mogotes*, de edad Carbonífero-Pérmico, siendo afectada por una posible fase metamórfica del Paleozoico-tardío que pudo haber actuado en el MS.

²⁸ REY LEON, Vanessa. Estudio de las rocas de la unidad Ortonéis en el Macizo de Santander: consideraciones petrológicas y geoquímicas. Trabajo de grado (Pregrado Geología). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2015, pp. 20-21/116-125. Biblioteca UIS [Base de datos en línea].

²⁹ WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit. pp.43-44

³⁰ MORENO, GÓMEZ y CASTILLO, Op Cit.

4. ANTECEDENTES

Ward *et al.*³¹, cartografiaron unas rocas sedimentarias con bajo grado de metamorfismo dentro del MS, algunas aflorando en inmediaciones de Mogotes y San Joaquín. Agrupando afloramientos puntuales y teniendo en cuenta una escala regional, definieron dos fajas principales en las cuales afloran éstas rocas: (1) al E de los batolitos de Santa Bárbara y Mogotes y, (2) entre Covarachía y Silos.

De forma general, según lo observado en la segunda faja, la parte inferior de la secuencia está compuesta por filitas pizarrosas grafiticas oscuras asociadas con mármoles (también presentes en cercanías de Mogotes) de color gris oscuro y gris blanco, reportando contenidos fósiles para los primeros, principalmente Briozoarios y fragmentos de Crinoideos. En la parte superior se nombran meta-areniscas gris verdosas, metalimolitas y filitas limosas, localmente se describen argilitas gris púrpura; en cercanías de San Andrés, se señalan conglomerados y cuarcitas que pueden ser basales; también se reportan argilitas filíticas gris a gris oscuro y metalimolitas calcáreas en inmediaciones de Mogotes. Denotan la ausencia de indicadores de Metamorfismo retrógrado.

Los autores excluyeron dichas rocas del basamento del MS, agrupándolas (en su mayoría) en el Devónico “miembro inferior metamorfoseado” de la Formación Floresta (de naturaleza mayoritariamente sedimentaria), que finalmente ha sido conocido como Formación Floresta Metamorfoseada, sin embargo describen que, en cercanías a Mogotes y San Joaquín, en donde éstas rocas parecen suprayacer la FS, existente una notoria similitud litológica entre ambas unidades, de modo que la delimitación del contacto es incierta.

³¹ WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit. pp. 43-44.

En Ward *et al.*³², además, definen un metamorfismo de facies esquistos verdes que formó pizarras argilitas a filitas, con una asociación mineral común: Qtz+Chl+Ms; cuyas estructuras minerales son producto de metamorfismo dinamo-térmico. En el área de Mogotes describen 3 tipos de planos S: S1=estratificación, S2=Foliación primaria, S3=Clivaje desplazado (Slip); y una ausencia de porfidoblastos post-cinemáticos tardíos.

Vargas *et al.*³³ indican que, con base en su mineralogía, la Formación Floresta ligeramente metamorfoseada, presenta un metamorfismo de tipo Abukuma, alcanzando la facies esquistos verdes, subfacies moscovita-clorita, con presencia de granates con características que señalan riqueza en espesartina “cuya ocurrencia está controlada por la composición química de la roca”, sin implicación en las condiciones de metamorfismo. Denotan, adicionalmente, variaciones en el grado de metamorfismo, las cuales relaciona con condiciones cambiantes de presión y temperatura, además, indica que el incremento del grado en inmediaciones de los cuerpos ígneos sugiere posibles efectos térmicos.

Los mapas publicados por Ward *et al.*³⁴ y Ward *et al.*³⁵ en 1977, representan parte del resultado gráfico de los primeros trabajos cartográficos de la región, elaborados a escala 1:100.000; en ellos es posible observar la distribución de las diferentes agrupaciones litológicas aflorantes en la zona, así como las relaciones entre éstas y los rasgos estructurales regionales; el segundo de los dos mapas citados, abarca el área de estudio del presente proyecto. A pesar de que éstos trabajos fueron

³² WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit. p. 101.

³³ VARGAS, Rodrigo; ARIAS, Alfonso, JARAMILLO, Luis y TÉLLEZ, Noél. Geología del cuadrángulo I-13, Málaga. INGEOMINAS [actual Servicio Geológico Colombiano], 1976, pp. 13-14. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en: <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

³⁴ WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; JARAMILLO, Luis y VARGAS, Rodrigo. Geología del cuadrángulo Pamplona H-13 [Mapa]. Escala 1:100.000. INGEOMINAS [actual Servicio Geológico Colombiano] - US Geological Survey, 1977. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en: <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

³⁵ WARD *et al.* Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000, Op Cit.

realizados en la década de los años 70's, constituyen una fuente importante de información y son el fundamento de la gran mayoría de los estudios posteriores, incluyendo éste trabajo de grado.

Clavijo Torres³⁶, designa como “Metasedimentitas de bajo grado” a una secuencia de rocas metamórficas de bajo grado con similitudes a las aquí tratadas, pero aflorantes en el Departamento de Norte de Santander, principalmente en las Quebradas La Virgen, Barro Blanco y Singararé; según Royero Gutiérrez³⁷ son consideradas de edad Ordovícico-Silúrico y, conocidas como: “Formación La Virgen”. Con base en esto, Royero y Clavijo³⁸ utilizan el término “Metasedimentitas” en lugar del anterior “Floresta Metamorfoseada” para referirse a éstas rocas; son descritas por estos autores como: el conjunto de “filitas, cuarcitas, metareniscas, metaconglomerados, metalimolitas calcáreas y filitas limosas; localmente se encuentran algunos horizontes fosilíferos en mármoles gris oscuro y filitas negras ... el metamorfismo de éstas rocas alcanza las facies esquistos verde”³⁹, afloran en algunos sectores del Departamento de Santander y atribuyen su origen a la Orogenia Caledoniana.

Moreno, Gómez y Castillo⁴⁰ hacen una propuesta controversial, en la que formulan reclasificar bajo el nombre de *Formación Mogotes* (FM), al conjunto de rocas agrupadas como FFM, con la finalidad de eliminar la relación entre ésta última y la FF; los argumentos incluyen diferencias petrológicas y paleontológicas entre

³⁶ CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander. Escala: 1:250.000 [Memoria explicativa del mapa]. Instituto de investigaciones en Geociencias, minería y química (INGEOMINAS). Bucaramanga, diciembre, 1994, pp. 12-13. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

³⁷ ROYERO GUTIERREZ, José María. Memoria explicativa de la plancha 65, Tamalamenque. INGEOMINAS. Bucaramanga, 1993. Citado en CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander. Escala: 1:250.000 [Memoria explicativa del mapa]. INGEOMINAS. Bucaramanga, diciembre, 1994, p.12. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

³⁸ ROYERO y CLAVIJO, Op Cit. pp. 17-18.

³⁹ *Ibid.*, pp. 17.18.

⁴⁰ MORENO, GÓMEZ y CASTILLO, Op Cit.

ambas, de modo que la primera no sería una sección metamorfoseada de la segunda. Manifiestan que la FFM comprende abundantes y potentes bancos de mármol, presentando así una buena afinidad con los depósitos del Carbonífero Tardío-Pérmico, caracterizados por su naturaleza silícico-calcárea; contrariamente, en la FF los niveles calcáreos reportados están “limitados a intercalaciones muy raras y delgadas (centimétricas), siendo una unidad fundamentalmente Siliciclástica”⁴¹, teniendo concordancia con las demás unidades del Devónico. Por otro lado, arguyen que los briozoarios (Fenestrellidos) y briozoos presentes están poco conservados y no son fiables para determinar un rango de edad, pero los braquiópodos del género *Productus* sp. reportados están limitados al rango Devónico-Pérmico, descartando así una edad Pre-Devónica. Finalmente, indican una edad probable Carbonífero~Pérmico para la *Formación Mogotes*, posiblemente relacionada a la formación de Pangea (fase Herciniana).

Por otro lado, Mantilla, García y Valencia⁴² reportan una secuencia de rocas con muy bajo grado de metamorfismo aflorantes en inmediaciones de Aratoca, en un sector conocido como “Mesa de San Pedro”; la secuencia se conforma por filitas cloríticas (con Qtz y Ms/Ser), con foliación continua y fina, intercaladas con metareniscas (con Qtz, Ms, Chl, Pl y Kfs) y metalimolitas con débil foliación espaciada; indican que la textura predominante es lepidogranoblástica, hay presencia de opacos, circón, apatito y, la paragénesis general es: Qtz+Ms+Chl. Los autores señalan que estas litologías han sido agrupadas clásicamente dentro de la extensa Formación Silgará (FS) de Ward *et al.*⁴³, sin embargo, con base en datos obtenidos en su estudio concernientes a: la máxima edad estratigráfica de los paleosedimentos, litotipos y grados de metamorfismo (ver *Cuadro 1*), proponen dividir la FS en 3 unidades, en donde las metasedimentitas de muy bajo grado conformarían la unidad nombrada como: *Filitas de San Pedro* (UFSP)

⁴¹ MORENO, GÓMEZ y CASTILLO, Op Cit.

⁴² MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Propuesta de escisión de la denominada ‘Formación Silgará’ (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos, Op Cit.

⁴³ WARD *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit.

Cuadro 1. Compendio de algunos de los datos que sustentan la división de la Formación Silgará (según Mantilla, García y Valencia).

	ZONA DE ESTUDIO		
	FRANJA MATANZA - CACHIRÍ	FRANJA PIEDECUESTA - ARATOCA	
		Vía B/manga-Aratoca (Cañón del Chicamocha)	Vía B/manga-Aratoca (Mesa de San Pedro)
LITOLOGÍA	Metapelitas y metapsamitas	Metapsamitas, semipelitas y metabasitas (hacia la base)	Metapsamitas, metapelitas, metavolcanoclasticas (?)
MÁXIMA GRADO DE METAMORFISMO	Esquistos verdes (zona de la clorita)	Anfibolita	Sub-esquistos verdes
RANGO EDAD ESTRATIGRÁFICA DE LOS PALEOSEDIMENTOS (geocronología U-Pb en circones detríticos)	En cuarcitas Rango: 906,5±10,5 - 1.610,3±9,8 Ma	En cuarcitas, zona de la estaurólita. 455,1±6,1 - 2586.9±10,2 Ma	451,6±7,7 - 1.611,5±13,6 Ma
MÁXIMA EDAD ESTRATIGRÁFICA DE LOS PALEOSEDIMENTOS	940 Ma →Neoproterozoico-Toniano	524 Ma →Cámbrico Temprano (Terreviano)-Cámbrico medio.	451,6±7,7-480 Ma →Ordovícico Tardío(Katian)
NOMBRE PROPUESTO PARA LA UNIDAD	Esquistos del Silgará (s.s.)	Esquistos del Chicamocha	Filitas de San Pedro
POSIBLE EVENTO DE FORMACIÓN	Orogénico principal Fammatiniano (Ordovícico Temprano)		Orogénico Fammatiniano menor (Silúrico)

Fuente: compilación hecha por autor, datos tomados de MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA RAMÍREZ, Carlos Alberto y VALENCIA, V.A. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*. Enero-abril, 2016, 38(1). ISSN: 0120-0283.

Los autores presentan una edad estratigráfica entorno a los $451,6 \pm 7,7$ –480 para la UFSP y, resaltan que serían rocas diferentes a las metasedimentitas (algunas fosilíferas) nombradas por Moreno, Gómez y Castillo⁴⁴ como *Formación Mogotes* cuyas edades estratigráficas posibles se encuentran entre el lapso Devónico-Pérmico. Por otro lado, denotan que la presencia de circones detríticos con picos de edades de 1.000Ma y 480Ma indican que el protolito presenta materiales que pueden estar relacionados con la erosión de unidades como la UO y la UNB.

Mantilla, García y Valencia⁴⁵ con base en las dataciones presentadas en el artículo anterior, en nuevos datos a partir de análisis isotópicos del Hf en circones detríticos y, en geoquímica de roca total de las 3 unidades escindidas de la FS: proponen un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del MS (éste puede ser consultado de forma resumida en la *Figura 4* del mismo artículo). Los autores, indican que la UFSP contiene materiales ligeramente más máficos que las otras dos unidades, siendo esto relacionado con aportes de una corteza “comparativamente menos diferenciada”; por otro lado, reportan la presencia de circones de afinidad cortical con edades entre Ordovícico Temprano a medio (482 y 460Ma) que estarían relacionados con “el desmantelamiento de los granitos sin-tectónicos representados en la unidad Ortonéis”⁴⁶, indicando que dentro de las fuentes del protolito se encuentran unidades propias del basamento del MS.

Pineda⁴⁷, conforma (hasta la fecha) uno de los trabajos más recientes acerca de las metasedimentitas del MS, estudiando rocas aflorantes entre Mogotes y San Joaquín clasificadas como Formación Floresta Metamorfoseada. El autor describe al menos

⁴⁴ MORENO, GÓMEZ y CASTILLO, Op Cit.

⁴⁵ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander..., Op Cit.

⁴⁶ *Ibíd.*, p. 332.

⁴⁷ PINEDA, Julián. Caracterización mineralógica, petrográfica de las pizarras de la Formación Floresta Metamorfoseada (FFM), aflorante entre los municipios de Mogotes y San Joaquín (Cordillera Oriental, Colombia). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2016. Biblioteca UIS.

3 miembros, compuestos principalmente por: (1) *miembro inferior*: ruditas, areniscas rudíticas y areniscas; (2) *miembro medio*: areniscas y lutitas; (3) miembro superior: lutítico. “Las litologías del miembro basal presentan un aspecto filítico, el miembro medio presenta en mayor o menor medida desarrollo de pizarrosidad, mientras que el miembro superior no presenta desarrollo de planos de foliación tectónica, como los referidos para los miembros basal y medio”⁴⁸. La pizarrosidad es asociada a un evento tectonotermal local de edad Carbonífero (Mississippiano, 341.86 ±9.72 Ma, dataciones Ar-Ar en sericitas neoformadas de los dominios de clivaje de la pizarrosidad) asociado a las fallas. Indica que las superficies filíticas debieron desarrollarse entre el Devónico y antes del Mississippiano (después de la depositación y antes del desarrollo de la pizarrosidad).

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, es posible señalar que los primeros estudios en el área de trabajo estuvieron enfocados a la realización de la cartografía geológica y al conocimiento general de los diferentes recursos minerales de la zona; éstos aún en la actualidad representan, de forma general, una buena fuente de información a escala regional. Los trabajos posteriores, involucran principalmente las Formaciones Silgará y Floresta Metamorfoseada, dentro de las cuales se han incluido clásicamente algunas de las metasedimentitas de bajo a muy bajo grado aflorantes dentro del MS; la primera cuenta con análisis detallados que exponen la necesidad de su redefinición, mientras que la segunda cuenta principalmente con un análisis petrográfico y geocronológico en uno de sus miembros, realizado recientemente; rocas al parecer pertenecientes a ésta última Formación, fueron estudiadas además, con base en correlaciones petrológicas y paleontológicas.

⁴⁸ Op Cit. p. 10.

De forma paralela a la realización de este trabajo, se iniciaron investigaciones acerca de rocas metamórficas de bajo a muy bajo grado aflorantes en sectores como Silos, Guaca y Molagavita; sin embargo, sus resultados no están disponibles al momento de redacción de este trabajo de grado. De igual manera, a la fecha no existe una cartografía geológica local que proporcione mayor resolución acerca de las relaciones de campo de las diferentes litologías, la definición de los contactos, la distribución espacial y la influencia de las fallas, a excepción de algunos mapas sin publicar realizados por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander (UIS) como parte de la materia “campo II” del programa de pregrado en geología. La realización de una cartografía detallada de la zona de estudio, junto con datos específicos del grado de metamorfismo obtenidos a través de técnicas específicas como: análisis textural a través de Microscopio Electrónico de Barrido (en inglés: Scanning Electron Microscopy, SEM) o Microscopio Electrónico de Transmisión (en inglés: Transmission Electron Microscopy, TEM), análisis de cristalinidad de la Illita, inclusiones fluidas, entre otros, aportarían información relevante para la definición de una evolución geológica del MS con mayor precisión en relación a los eventos metamórficos de bajo grado que se han registrado.

5. METODOLOGÍA

Éste trabajo fundamenta su desarrollo en 5 fases, las cuatro primeras son detalladas a continuación debido a su importancia con la obtención de los datos y resultados.

Cuadro 2. Fases del proyecto

1	Precampo: antecedentes, planteamiento del problema y diseño del plan de trabajo.
2	Trabajo de campo: recolección de muestras y datos de campo.
3	Laboratorio: obtención de resultados.
4	Análisis e interpretación de resultados.
5	Elaboración y entrega del informe final.

5.1 FASE DE PRECAMPO

En esencia, ésta fase consistió en la recopilación de la mayor cantidad de información (publicada o inédita) referente al metamorfismo del MS y, específicamente, aquella concerniente a las metasedimentitas aflorantes en ésta provincia litotectónica. Se incluyen: mapas, artículos de revistas científicas (Boletín de Geología UIS; South American Earth Science; United States Geological Survey; Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; entre otras), informes, memorias de congresos de Geología, trabajos de grado, etc. Las principales fuentes de consulta fueron: la base de datos de la Biblioteca Central de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y archivos tanto del Servicio Geológico Colombiano (antiguo Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS) como del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); además de diversos recursos de libre acceso en línea. Los datos obtenidos son examinados para conocer el estado del arte y planear de forma adecuada las etapas consiguientes.

5.2 FASE DE TRABAJO DE CAMPO

Consistió en la recolección sistemática de muestras de las litologías de interés, cada una acompañada por las descripciones y datos generales del correspondiente afloramiento (dimensiones, aspecto, rasgos geomorfológicos y estructurales, características particulares, entre otros) y, datos preliminares a escala de muestra de mano. Se tuvo especial preferencia por aquellas rocas representativas de cambios mineralógicos, texturales y/o estructurales. Se trabajó sobre un segmento del carretable que comunica a los Municipios de Mogotes y San Joaquín, ya que ésta vía corta la montaña dejando sectores descubiertos que presentan, en general, buenos afloramientos. En total se obtuvieron 12 muestras representativas cuya nomenclatura está definida por las iniciales PM (Proyecto Mogotes), seguida por el número de la estación y el número de la muestra; fueron recolectadas a lado y lado del contacto trazado por Ward *et al.*⁴⁹, entre las clásicas Formaciones Silgará y Floresta, zona cartografiada posteriormente como Formación Floresta Metamorfoseada en la plancha 136-Málaga⁵⁰ (ver Figuras 1 y 2, en *Introducción*).

5.3 FASE DE LABORATORIO

En el Cuadro 3 se presenta la lista de las muestras recolectadas, incluyendo la ubicación geográfica (visible localmente en la *Figura 5* de la sección *Localización*), coordenadas y, análisis realizados a cada una de éstas rocas. La fase se basó en el desarrollo sistemático de las actividades descritas a continuación.

⁴⁹ WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; TELLEZ, N. y JARAMILLO, Luis. Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000, Op Cit.

⁵⁰ VARGAS, Rodrigo; ARIAS, Alfonso; JARAMILLO, Luis y TELLES, Noél. Geología de la Plancha 136 Málaga. transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013 [Mapa]. Escala 1:100.000, Op Cit.

Cuadro 3. Listado y datos de las muestras recolectadas.

ESTACIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	COORDENADAS	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	ESTUDIOS REALIZADOS			
					Análisis macroscópico	SD	SDP	DRX
1	Vía Mogotes-San Joaquín, margen derecho de la vía.	X: 1'204.238 NO Y: 1'128.068 OE	PMOG 1-1	Filita pelítica.	✓	✓	✓	
2		X: 1'203.594 NO Y: 1'129.377 OE	PMOG 2-1	Filita cuarzosa.	✓		✓	
3		X: 1'203.202 NO Y: 1'129.894 OE ± 9m	PMOG 3-1	Metalodolita.	✓		✓	✓
			PMOG 3-2	Roca metacarbonatada.	✓	✓		
			PMOG 3-3	Metacuarzoarenita.	✓		✓	
			PMOG 3-4	Arcillolita shale.	✓			✓
4		X: 1'203.625 NO Y: 1'130.185 OE Z: 2.254; ± 9m	PMOG 4-1	Lodolita arenosa.	✓			✓
5		X: 1'203.907 NO Y: 1'130.775 OE Z: 2.254; ± 6m	PMOG 5-1	Filita pelítica.	✓		✓	✓
			PMOG 5-2	Filita pelítica.	✓	✓	✓	
6		Vía San Joaquín-Mogotes, margen izquierdo de la vía.	X: 1'203.782 NO Y: 1'130.748 OE Z: 2.320; ± 14m	PMOG 6-1	Filita pelítica.	✓	✓	✓
	PMOG 6-3			Filita pelítica.	✓			
7	X: 1'203.463 OE Y: 1'129.637 NO Z: 2.205; ± 21m	PMOG 7-1	Pizarra.	✓				

5.3.1 Descripción de las muestras de mano. La descripción se realizó siguiendo los parámetros pautados en el Manual de prácticas de Petrología Metamórfica⁵¹, con la terminología y abreviaturas propuestas por la SCMR⁵². Las descripciones con base en criterios sedimentarios se efectuaron utilizando las guías de laboratorio de sedimentología para geólogos de Cruz y Caballero⁵³.

5.3.2 Petrografía. Se realizaron 4 secciones delgadas (SD) en el laboratorio de preparación de muestras de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Adicionalmente, se seleccionaron 7 muestras para secciones delgadas pulidas (SDP), éstas fueron elaboradas por la empresa MINERLAB Ltda. bajo la financiación de la UIS [proyecto interno UIS 1799 *Condiciones y edad de metamorfismo de las metasedimentitas aflorantes en el área del municipio de Mogotes (Macizo de Santander, Colombia)*] y el Grupo de Investigación en Geología básica y aplicada (GIGBA). Los estudios petrográficos fueron realizados en el laboratorio de petrografía de grupo GIGBA ubicado en la sede Guatiguará UIS usando un microscopio marca Leica con cámara digital adaptada. Las descripciones de las muestras se hicieron siguiendo las pautas de García⁵⁴. Los valores de porcentajes de contenido mineral se obtuvieron a través de diagramas de estimación visual de porcentajes.

⁵¹ GARCÍA RAMÍREZ, Carlos A. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica. Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Bucaramanga: Ediciones UIS, 2007. 88 p.

⁵² SIIVOLA, Jaakko & SCHMID, Rolf. List of Mineral Abbreviations. En: FETTER, D. & DESMONS, J. (eds.). *Metamorphic Rocks. A Classification and Glossary of Terms...*, Op Cit. pp. 93-110.

⁵³ CRUZ, Luis y CABALLERO, Víctor. Laboratorio No 1 [Descripción y Clasificación de rocas terrígenas por su textura, 28-06-2007], Laboratorio No 2 [Descripción y clasificación por composición de las rocas terrígenas en muestra de mano, 28-06-2007] y Laboratorio No 6 [Descripción y clasificación de estructuras sedimentarias, 14-05-2007]. En: *Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos* [Impreso]. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología. (s.p.).

⁵⁴ GARCÍA RAMÍREZ, Carlos. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica, Op Cit. pp. 88.

5.3.3 Difracción de rayos X.

Con el fin adquirir más información acerca de parte de la composición mineralógica que por cuestiones de escala no pudo ser reconocida satisfactoriamente a través del microscopio petrográfico y, además, para determinar la presencia de minerales como la Illita debido a la importancia que tiene para la determinación del grado de metamorfismo en rocas de esquistos verdes a sub-esquistos verdes, se realizó un análisis cualitativo de fases presentes en la muestra; para esto fueron seleccionadas las rocas con menor tamaño de grano y aquellas que podrían contener mayores cantidades de minerales arcillosos. Los análisis fueron realizados por el laboratorio de Rayos-X del parque tecnológico Guatiguará. Los detalles técnicos de la metodología utilizada por el laboratorio se encuentran en el informe completo de resultados, el cual se encuentra en la sección de anexos (ver Anexo A):

5.4 FASE DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los datos obtenidos a través de las etapas anteriores son analizados e interpretados, contrastando la información con la adquirida en la documentación inicial y con nuevas fuentes. Esta fase incluye la redacción de las recomendaciones y conclusiones finales del trabajo de investigación. En la sección 8. *Metamorfismo*, se tienen en cuenta las recomendaciones y definiciones presentadas o recopiladas por la SCMR⁵⁵, entre esas la de *diagénesis*. Otras definiciones y análisis se realizan con base en el libro editado por FREY y ROBINSON⁵⁶.

⁵⁵ ÁRKAI, Péter; SASSI, Francesco & DESMONS, Jacqueline. Very low to low grade Metamorphic rocks: Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks [En línea]. (2 Nov, 2003). Versión web 01/02/07. Disponible en: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/IUGS/0_IUGS.htm>. [Citado 20 de diciembre de 2016].

⁵⁶ FREY, Martin & ROBINSON, Doug. eds. Low-Grade Metamorphism. Blackwell Science Ltd., 1999. 328 p. ISBN 0-632-04756-9.

6. MUESTRAS DE MANO Y PETROGRAFÍA

A continuación, se exponen los datos obtenidos a escala mesoscópica (muestra de mano) y microscópica (petrografía); se indican, además, algunos aspectos de los afloramientos. Las muestras: arcillolita shale fosilífera (PMOG 3-4), lodolita arenosa (PMOG 4-1), filita pelítica (PMOG 6-3) y pizarra (PMOG 7-1); no cuentan con SD o SDP. La información se presenta manteniendo el orden de las estaciones y las descripciones son hechas siguiendo la metodología propuesta por García⁵⁷, así: (1) descripción en muestra de mano, (2) composición mineralógica, (3) microtexturas y (4) microestructuras. Las paragénesis y condiciones de metamorfismo son tratadas en otro capítulo. El tamaño de grano para las descripciones de las rocas con base en criterios metamórficos, es determinado según los parámetros de la SCMR: grano muy grueso: (>16 mm); grano grueso (16 – 4mm); grano medio (4 – 1mm), grano fino (1 – 0.1mm), grano muy fino (0.1 – 0.01mm); grano ultrafino (< 0.01mm).

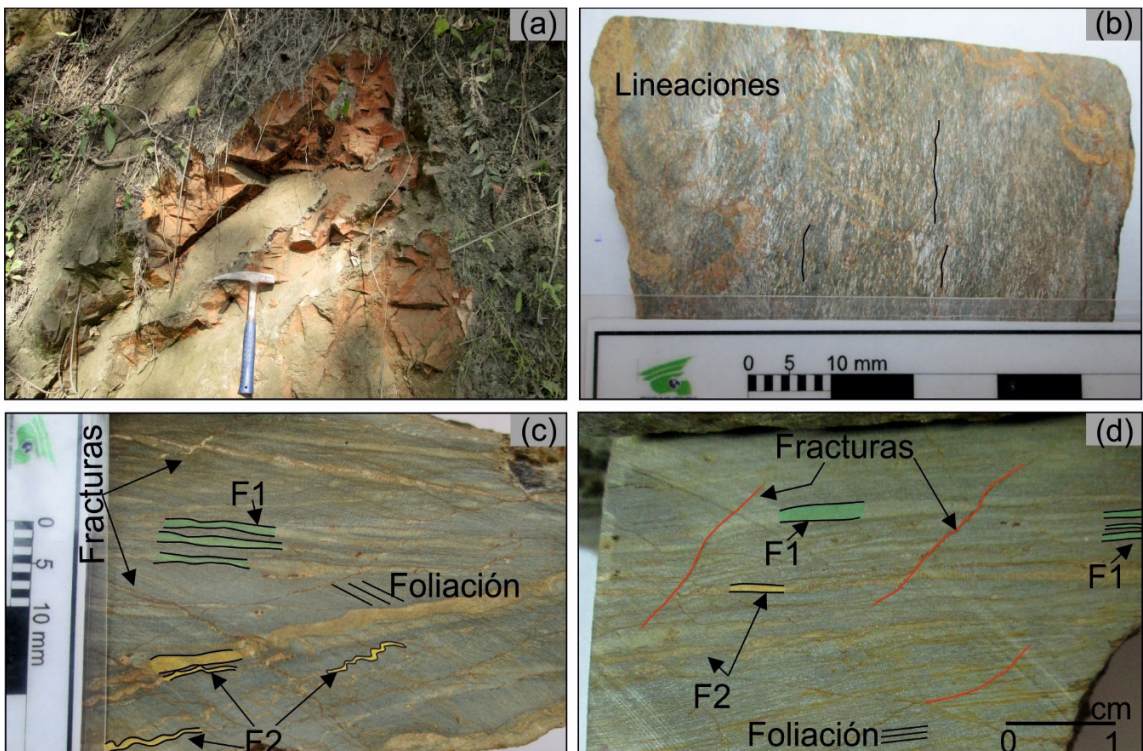
6.1 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 1-1)

6.1.1 Muestra de mano. A escala de afloramiento, se observó diaclasamiento. La muestra es una roca de tonos vino tinto a ocre semejantes a óxidos de hierro y tonos oscuros azulados de aspecto metalizado (posiblemente óxido de manganeso) en los sectores meteorizados; en muestra fresca se observan colores grisáceos a ocre claros con sutiles tintes verdosos; presenta brillo no metálico, sedoso a perlado. La roca tiene un tamaño de grano muy fino a ultrafino, foliación bien desarrollada y lineaciones. Se observan dos familias de venas: la primera (F1) tiene un alto contenido de cuarzo, espesores entre los 0,4 y 2,5 mm, colores grisáceos

⁵⁷ GARCÍA RAMÍREZ, Carlos. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica, Op Cit. p. 85-88.

claros y una tendencia a disponerse de forma subparalela entre sí, en ocasiones concordantes con la dirección principal de foliación de la roca; la segunda familia de venas (F2) está compuesta igualmente por cuarzo, el mayor espesor medido alcanza los 2mm, éstas estructuras tienden a seguir trayectorias rectas pero se muestran fuertemente sinuosas y localmente exhiben plegamientos, son abundantes y, más jóvenes que las descritas al inicio. La roca exhibe numerosas fracturas rellenas principalmente por óxidos, éstas producen microdesplazamientos. Mineralógicamente se resalta el contenido de muscovita. (Ver Figura 7).

Figura 7. Afloramiento y muestra de mano, filita pelítica (PMOG 1-1). (a) afloramiento, es notorio el diaclasamiento; (b, c y d) diferentes cortes de la muestra de mano, en la primera se denotan las lineaciones y en las otras dos, las familias de venas presentes que pueden mostrarse perpendiculares o pseudoparalelas a la foliación principal. Se demarcan algunas de las numerosas fracturas observadas.



6.1.2 Composición mineralógica. En éste apartado, se describen las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.1.2.1 Muscovita. [31%], agregados de individuos subidioblásticos, alargados, prismáticos y en su mayoría equigranulares y homeoblásticos, con tamaño de grano muy fino a ultrafino. Los cristales son incoloros a verde pálido, algunos exhiben una exfoliación paralela perfecta, son levemente pleocróicos y de bajo relieve; muestran colores de interferencia amarillos, naranjas, fucsias y azules del segundo orden, tienen extinción recta. Es uno de los principales componentes de la roca, encontrándose tanto en la foliación S1 como en la S2, se halla en intercrecimiento con clorita y cuarzo (en menor proporción); escasos individuos exhiben una orientación aleatoria. Éste mineral se encuentra afectado en varios sectores por los óxidos asociados a las fracturas; pueden encontrarse incluidos dentro de las venas de cuarzo y cuando éstas estructuras presentan plegamiento, la muscovita es reorientada alineándose fuertemente en el cierre de los pliegues; se distribuye de forma homogénea y abundante en la muestra. Ver Figuras 8 y 9.

6.1.2.2 Clorita. [25%], agregados concéntricos, xenoblásticos a subidioblásticos, en su mayoría equigranulares y heteroblásticos; algunos presentan hábito acicular; exhiben color verde claro y relieve moderado, levemente pleocróicos, son de tamaño de grano muy fino a ultrafino. Presentan colores de interferencia bajos, de primer orden. Están intercrecidos con agregados de muscovita y en ocasiones con cristales de cuarzo en proporciones variables a lo ancho de la sección. Se distribuye ampliamente en la muestra en cantidades menores a casi iguales respecto de la muscovita, es uno de los componentes de la matriz de la roca. Se encuentran orientados concordantemente con S₁ y S₂. Ver Figuras 8 y 9.

6.1.2.3 Cuarzo. [30%], Se observan tres generaciones:

- **Cuarzo1.** [8%], individuos xenoblásticos a subidioblásticos, heteroblásticos, inequigranulares, incoloros y de bajo relieve, algunos presentan extinción ondulante y se encuentran moderadamente orientados de forma concordante con la dirección de foliación S_1 . Están en contacto con cristales de muscovita y, en menor proporción, con agregados de clorita. Tienen tamaños de grano muy fino a ultrafino y se distribuyen de forma escasa pero heterogénea en la roca, Ver Figura 9a-8b.
- **Cuarzo2.** [12%], conforma la primera familia de venas (F1), son individuos xenomorfos a subidioblásticos con bordes irregulares, son inequigranulares y heteroblásticos con tamaños de grano muy fino a ultrafino, aunque en algunos sectores exhiben dimensiones mayores debido a la influencia de algunas fracturas que conllevan a procesos de recristalización; pueden contener inclusiones de cristales de muscovita. Este mineral es apreciable en las Figuras 9e-f y 10a-b.
- **Cuarzo3.** [10%], individuos con tamaño de grano fino a ultrafino, idioblásticos poligonizados a subidioblásticos, inequigranulares y heteroblásticos; conforman las venas de la Familia 2, los cristales ubicados en el centro de esta estructura suelen presentar mayor tamaño de grano y caras más definidas que aquellos ubicados en los bordes. Las venas pueden presentar algunos plegamientos locales, en los sectores con mayor deformación, los cristales tienden a verse xenomorfos, con bordes lobulados y extinción ondulante. Ver Figura 10.

6.1.2.4 Epidota. [2%], agregados granulares de cristales subidioblásticos, inequigranulares, heteroblásticos, con relieve alto, color verde amarillento, pleocroísmo, birrefringencia alta a moderada y colores de interferencia brillantes de tonos verdes, amarillos, fucsias y azules verdosos de segundo orden. La presencia de epidota está ligada a las fracturas y sus planos de debilidad asociados (Figura 8a-b); los agregados se hallan frecuentemente con geometrías lenticulares (Figura 8c). Muchos de éstos planos de debilidad se encuentran orientados de forma oblicua a las direcciones de foliación de la roca (S_1 y S_2), sin embargo, también

pueden encontrarse de forma paralela a éstas, en cuyo caso aparentan formar parte de la paragénesis mineral de la matriz de la muestra, lo cual es descartado por la evidente relación genética con fracturas cercanas. También es hallada dentro de las venas de cuarzo, pero en menor abundancia.

6.1.2.5 Minerales opacos. [4%], escasos porfidoblastos heteroblásticos, inequigranulares, xenoblásticos o idioblásticos, algunos de ellos con formas tabulares. Tienen tamaño de grano muy fino y se distribuyen de forma heterogénea en la roca, ya que puede haber mayor concentración en algunas franjas concordantes con la foliación S_2 .

6.1.2.6 Óxidos. [8%], ampliamente distribuidos en la muestra, siguen los planos de debilidad S_1 y S_2 , además de algunas fracturas. Se relacionan con la presencia de epidota; pueden encontrarse como agregados microgranulares, siendo observados con dificultad aún con un objetivo de 20x, o como agregados fibrosos (Figura 8d); algunos se encuentran bordeando los cristales de minerales opacos.

Cuadro 4. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 1-1)

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA	
Relictos		No se evidencia.	Principales (>50%) No se evidencia.
Metamorfismo prógrado		Qtz1, Ms y Chl.	Mayores (>5%) Ms, Chl, Qtz1, Qtz2, Qtz3 y óxidos.
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Menores (1 y 5%) Ep y Op.
	Procesos posteriores al metamorfismo	Qtz2, Qtz3, óxidos y Ep.	Accesorios (<1%) Esenciales No se evidencia.

6.1.3 Microtexturas. La muestra presenta una textura lepidoblástica (Figura 9c-d y 10a-b, sección diagonal derecha); de forma local se podría hablar de una textura granolepidoblástica pobremente desarrollada (Figura 10a-b). La matriz está conformada por cristales de grano muy fino a ultrafino de muscovita, clorita y cuarzo¹ (en menor proporción).

6.1.4 Microestructuras. Se determinó la presencia de dos foliaciones, a saber, S_1 y S_2 (Figura 9a-b), presentándose una microestructura de crenulación; ambas foliaciones están conformadas por agregados de muscovita y agregados de clorita con menores cantidades de cuarzo. La muestra presenta una estructura claramente metamórfica.

Se observan dos familias de venas de cuarzo (Figuras 9 y 10): La primera (**F1**), está conformada por cristales de cuarzo principalmente xenomórficos y en ocasiones subidioblásticos, heteroblásticos e inequigranulares, con tamaño de grano principalmente ultrafino. Éstas venas se distribuyen de forma subparalela entre sí, con geometrías predominantemente rectas que en ocasiones aparentan seguir la dirección de foliación S_2 (Figura 10a-b). Se midieron espesores entre los 2,5mm y los 0,4mm. Se distribuyen ampliamente dentro de la muestra, contienen grandes cantidades de cristales de muscovita y en ocasiones de clorita provenientes de la matriz de la roca, por esto y por lo descrito anteriormente, estas estructuras pueden llegar a ser confundidas como “bandas poliminerale predominante cuarzosas”, sin embargo, por medio de las características en sección delgada y más aún en muestra de mano, se observa claramente su origen hidrotermal.

La segunda familia de venas (**F2**), se compone de cristales de cuarzo idioblásticos poligonizados a subidioblásticos, muy limpios, aunque en sectores con influencia de fracturas pueden verse xenoblásticos y a veces con bordes lobulados o estilolíticos (Figura 10f). Se orientan de forma aleatoria, con geometrías principalmente

sinusoidales, pero siguiendo trayectorias rectas; pueden encontrarse atravesando la muestra en su totalidad, desvaneciéndose de forma gradacional o desapareciendo abruptamente. Los espesores de las venas se encuentran entre los $40\mu\text{m}$ ($0,04\text{mm}$) y los $820\mu\text{m}$ ($0,82\text{mm}$). Tiene fuertes plegamientos (Figura 10c-d) que producen la alineación de la muscovita de la roca en los cierres de los pliegues, sin embargo, en otros sectores es evidente que los esfuerzos se concentraron en la vena afectando sutilmente la sección circundante de la matriz. Se identificó que, en algunas de estas venas, los cristales ubicados en los bordes de la estructura muestran un menor tamaño respecto de aquellos ubicados en el centro de la misma.

La roca está afectada por abundantes fracturas, muchas de ellas tienden a ser paralelas a la dirección de foliación S_2 , aprovechado esos planos de debilidad para extenderse de forma amplia a lo largo de la muestra; otras, se desarrollan siguiendo la foliación S_1 , siendo menos desarrolladas, con longitudes más cortas y geometrías curvadas. La mayoría de las fracturas están rellenas por óxidos; la presencia de epidota está ligada genéticamente a estas estructuras (Figura 8a-c). Estas fracturas deforman, cortan o desplazan hasta en $450\mu\text{m}$ ($0,45\text{mm}$) muchas de las venas de cuarzo presentes en la muestra (Figura 10e).

Figura 8. Epidota y óxidos, filita pelítica (PMOG 1-1). (a, b y c) epidota asociada a fracturas; (d) óxidos en forma de agregados microgranulares o fibrosos.

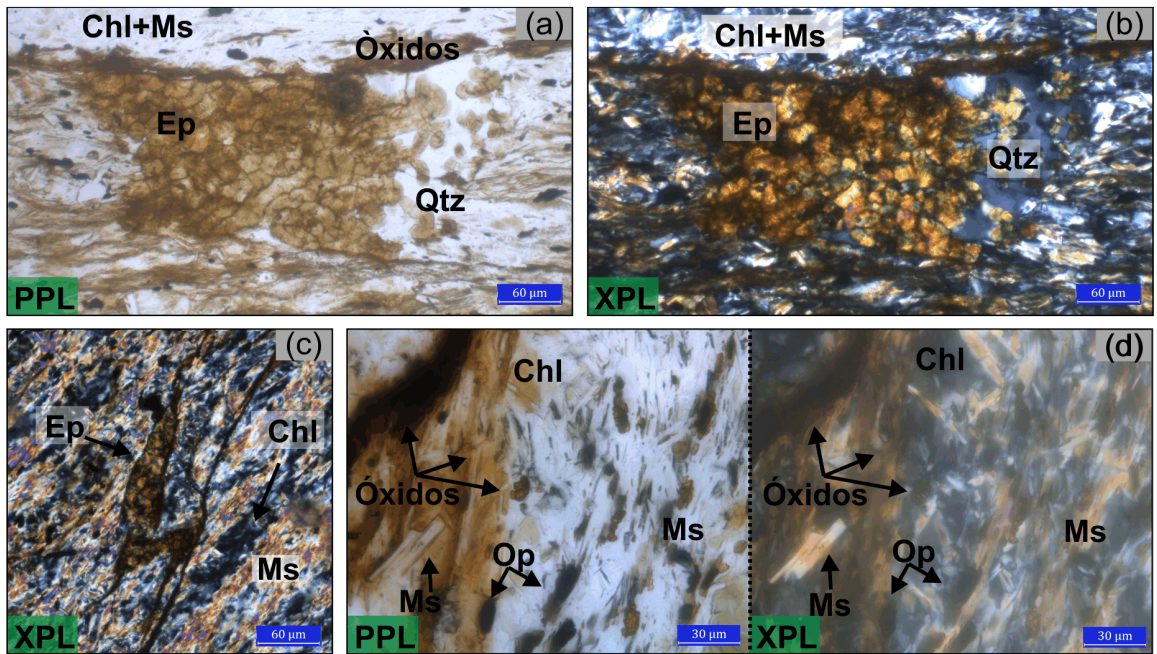


Figura 9. Texturas y estructuras, filita pelítica (PMOG 1-1). (a y b) textura granolepidoblástica pobremente desarrollada, se observa una microestructura de crenulación resaltada por el alto contenido de planos de debilidad rellenos por óxidos, ésta se desarrollan claramente en el centro de la microfotografía; (c y d) textura lepidoblástica conformada por agregados de Chl+Ms con tamaños de grano fino a muy fino; (e y f) las venas F1 y F2 pueden presentarse de forma pseudoparalela a las foliaciones o, perpendicular (ilustrándose acá el caso de F1).

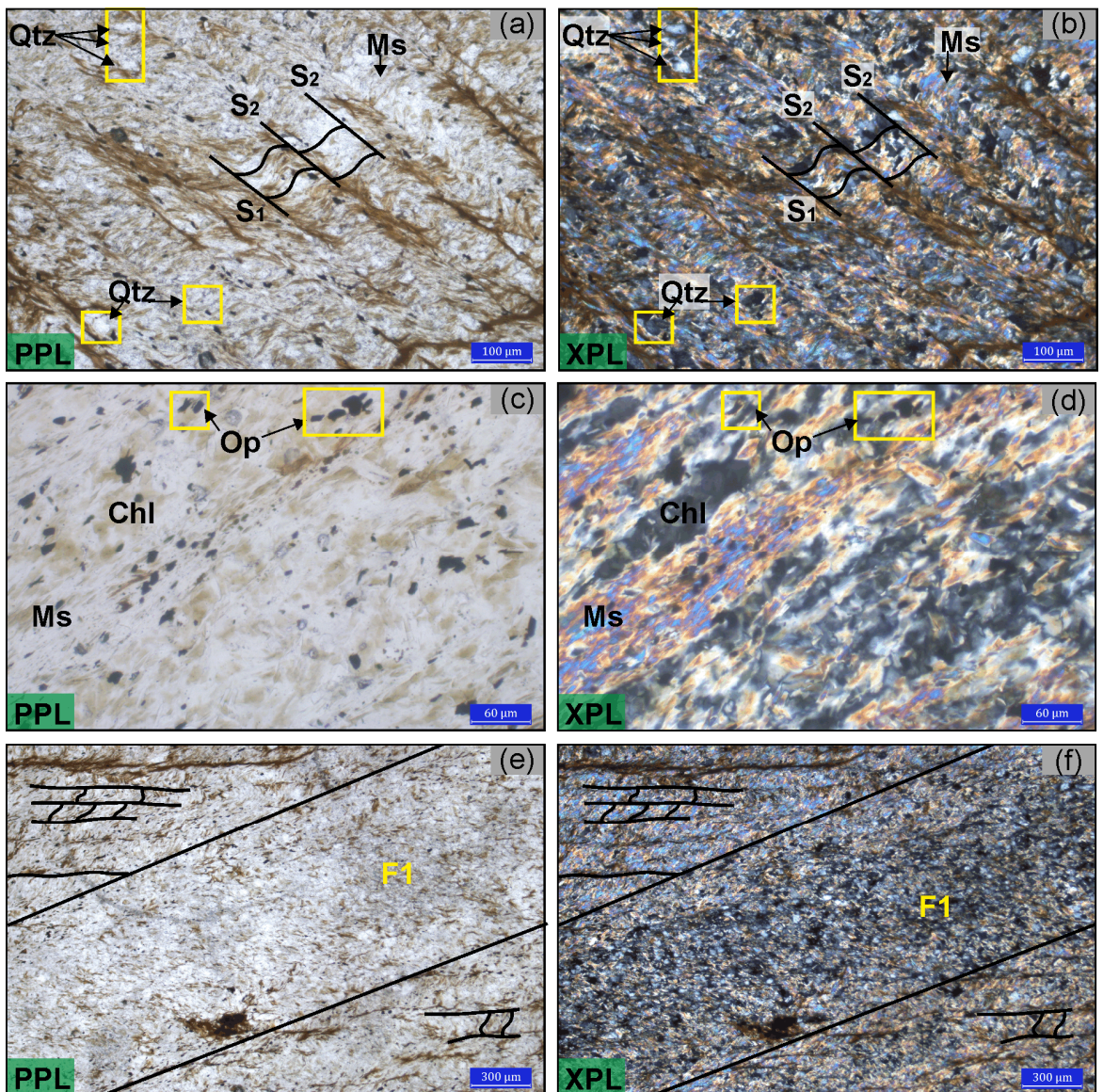
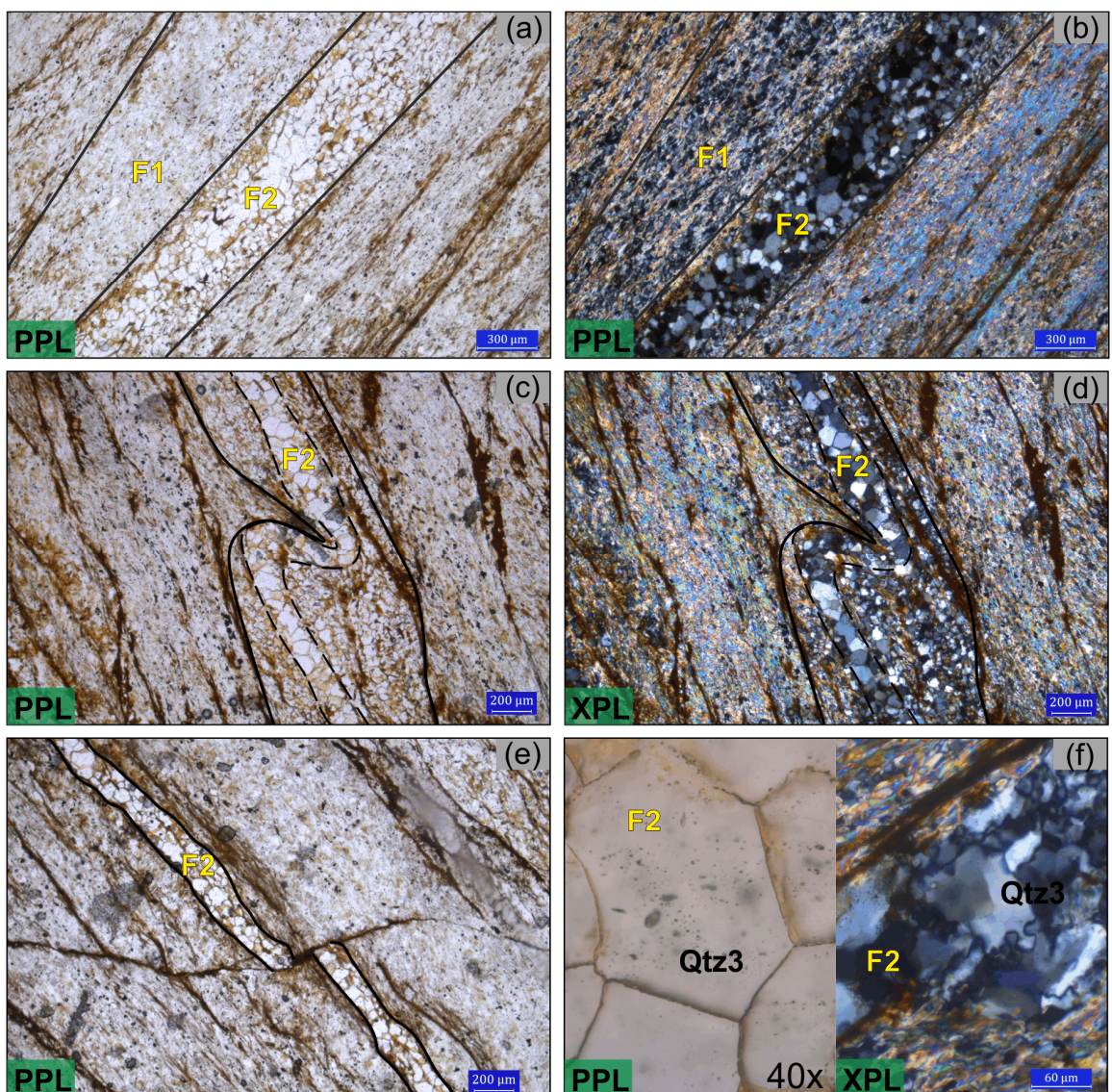


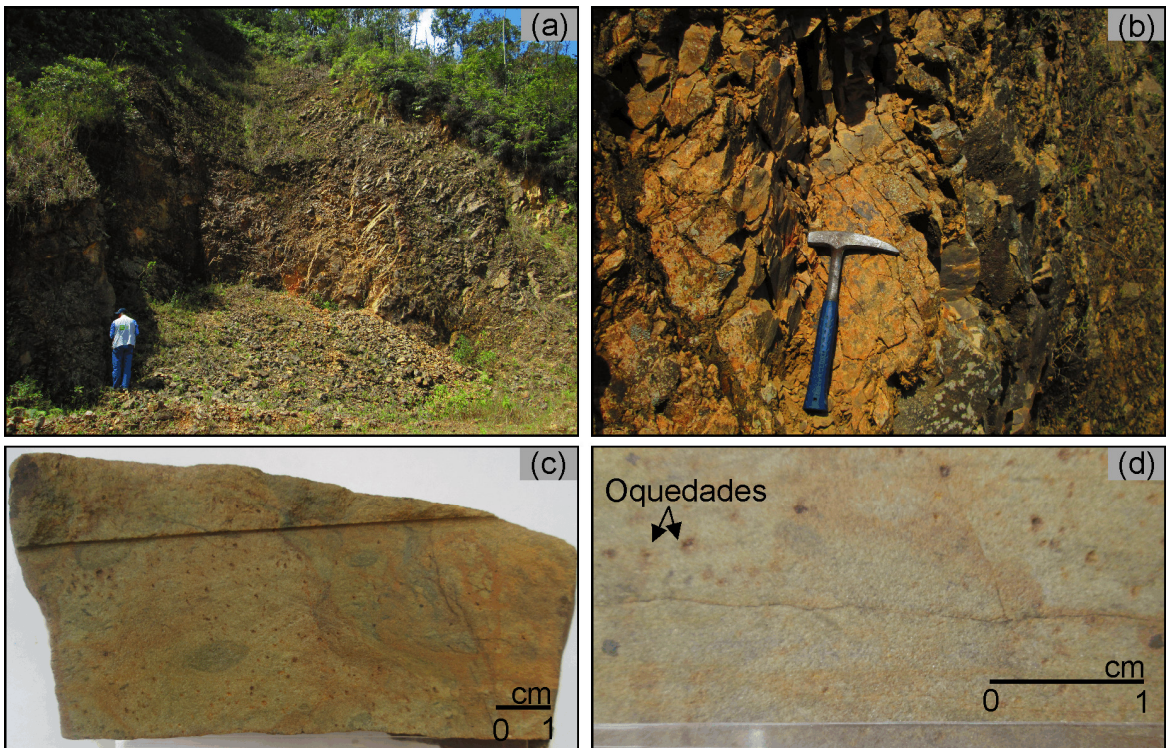
Figura 10. Familias de venas, filita pelítica (PMOG 1-1). (a y b) se observan las 2 familias de venas presentes en la muestra, la primera (F1) está formada por cristales xenoblásticos de Qtz, principalmente de grano muy fino y, relictos de la matriz de la roca. La segunda (F2), corta parcialmente a F1 y se forma por cristales de Qtz de grano fino, más grandes hacia el centro de la estructura y en su mayoría poligonizados; (c, d y f) la rocas contiene numerosas estructuras que deforman y desplazan las venas; (f) a pesar de que los cristales de Qtz de la F2 tienen a ser poligonizados (izq.), pueden presentar bordes lobulados en algunos sectores (der.).



6. 2 FILITA CUARZOSA (MUESTRA PMOG 2-1)

6.2.1 Muestra de mano. En los sectores meteorizados, la roca tiene tonalidades anaranjadas semejantes a óxidos de hierro y áreas azulosas de aspecto metalizado; en muestra fresca se ven tonos ocres a grisáceos con brillo vítreo a nacarado; es de grano fino a muy fino, sus componentes se muestran levemente orientados, tiene oxidación, porosidad, pequeñas fracturas y altas cantidades de cuarzo, además de muscovita y fenocristales de magnetita (en su mayoría lixiviados). No hay presencia de carbonatos ni sulfuros. En general, toda la zona de estudio está afectada por fallas, presenta diaclasamiento y, es común encontrar leves plegamientos en las litologías; en éste caso, el afloramiento comprende una zona de derrumbe que puede estar asociada a una de éstas estructuras frágiles. Figura 11.

Figura 11. Afloramiento y muestra de mano, filita cuarzosa (PMOG 2-1).



6.2.2 Composición mineralógica. En éste apartado, se describen las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.2.2.1 Cuarzo. [40%], Individuos heteroblásticos, inequigranulares, xenoblásticos a subidioblásticos, con bordes irregulares a difusos y tamaños de grano fino (principalmente) a ultrafino. Son incoloros y de relieve bajo, algunos cristales son alargados a angulares. La roca exhibe una orientación preferencial levemente definida. Se distribuyen de forma homogénea y abundante en la muestra, siendo uno de sus principales componentes (Figuras 12 y 13). En su mayoría, no presentan extinción ondulante; pueden contener inclusiones de cristales de muscovita.

6.2.2.2 Muscovita. [20%], Individuos o agregados de cristales subidioblásticos, tabulares alargados con terminaciones irregulares, inequigranulares, heteroblásticos, de color verde claro a incolora, levemente oscurecida por presencia de óxidos y con birrefringencia alta. Algunos individuos tienen exfoliación paralela perfecta. Se distribuye de forma homogénea y abundante en la muestra, conformando la matriz de la misma. Exhiben orientación preferencial concordante con el clivaje de la roca.

6.2.2.3 Plagioclasa. [5%], Cristales inequigranulares, xenomorfos a subidioblásticos, heteroblásticos, incoloros, de relieve bajo, con pequeñas inclusiones, birrefringencia baja y colores de interferencia grises a blancos de primer orden. Presentan diminutas inclusiones y macla polisintética. Se distribuyen de forma heterogénea y escasa dentro de la muestra. Asociado a muscovita y clorita¹. Ver Figura 12a-b.

6.2.2.4 Clorita. [20%], Se presentan dos generaciones:

- **Clorita1.** [10%], agregados concéntricos de individuos alargados, subidioblásticos, heteroblásticos, de color verde amarillento a incoloro, débilmente pleocróico y con bajo relieve, en ocasiones con tonalidades anaranjadas debido a la presencia de óxidos; muestran colores de interferencia grises de primer orden, en ocasiones anómalos en tonos marrones; se encuentran estrechamente relacionados con la muscovita, pero son considerablemente menos abundantes que éstas; se distribuyen de forma heterogénea. Ver Figura 12a-b y 12e-f.
- **Clorita2.** [10%], presente de forma abundante en fracturas y planos de debilidad, se encuentra asociada a óxidos (Figura 12c-d); son agregados concéntricos de individuos alargados, idioblásticos, heteroblásticos, con birrefringencia baja y colores de interferencia grises de primer orden, teñidos por la presencia de los óxidos.

6.2.2.5 Minerales opacos. [3%], porfidoblastos heteroblásticos, inequigranulares, idioblásticos de geometrías variables cúbicas a rectangulares, no presentan sombras de presión, se distribuyen de forma aleatoria y son poco abundantes.

6.2.2.6 Rutilo. [2%], cristales prismáticos, subidioblásticos, de color marrón oscuro, relieve muy alto y tamaño de grano fino a muy fino; presenta colores de interferencia pardos rojizos a dorados. Se distribuye de forma heterogénea y escasa en la muestra.

6.2.2.7 Óxidos. [10%], se distribuyen de forma abundante en la muestra a través de las numerosas microfracturas y demás planos de debilidad. Tiñen gran parte de la roca con un tono anaranjado. Pueden presentarse como agregados granulares de cristales de tamaño ultrafino.

Cuadro 5. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita cuarzosa (PMOG 2-1).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA		
Relictos		No se evidencia.	Principales (>50%)	No se evidencia.
Metamorfismo progrado		Qtz, Ms, Pl, Op y Chl1.	Mayores (>5%)	Qtz, Ms, Chl1 y Chl2.
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Menores (1 y 5%)	Pl, Rutilo, Op y óxidos.
	Procesos posteriores al metamorfismo	Chl2, Rutilo y óxidos.	Accesorios (<1%)	No se evidencia.
			Esenciales	No se evidencia.

6.2.3 Microtexturas. La muestra presenta una textura Lepidogranoblástica, ésta se muestra homogénea en toda la muestra (Figuras 12 y 13).

6.2.4 Microestructuras. Los minerales se encuentran aparentemente orientados según una dirección principal de clivaje (Ver Figuras 12 y 13). Hay numerosas fracturas que se distribuyen de forma aleatoria, aunque otras parecen seguir la dirección de clivaje de la roca o concentrarse en determinados sectores de la muestra formando estructuras enmarañadas; éstas exhiben geometrías rectas, ligeramente sinuosas y en ocasiones estilolíticas. Tienen espesores finos y son rellenas por óxidos y agregados de Chl (Figura 12c-d).

Figura 12. Textura y estructuras, filita cuarzosa (PMOG 2-1). (a y b) textura lepidogranoblástica, en el centro de la microfotografía se observa uno de los escasos cristales de plagioclasa presentes, la línea naranja denota la leve orientación de los componentes; (c y d) fracturas rellenas por óxidos y chl2, son abundantes en la muestra y se distribuyen de forma aleatoria, el alto contenido de óxidos tiñe la roca de color ocre anaranjado; (e y f) se muestran los principales minerales que conforman la roca: Ms, Chl1 y Qtz. [Microfotografías en PPL y XPL].

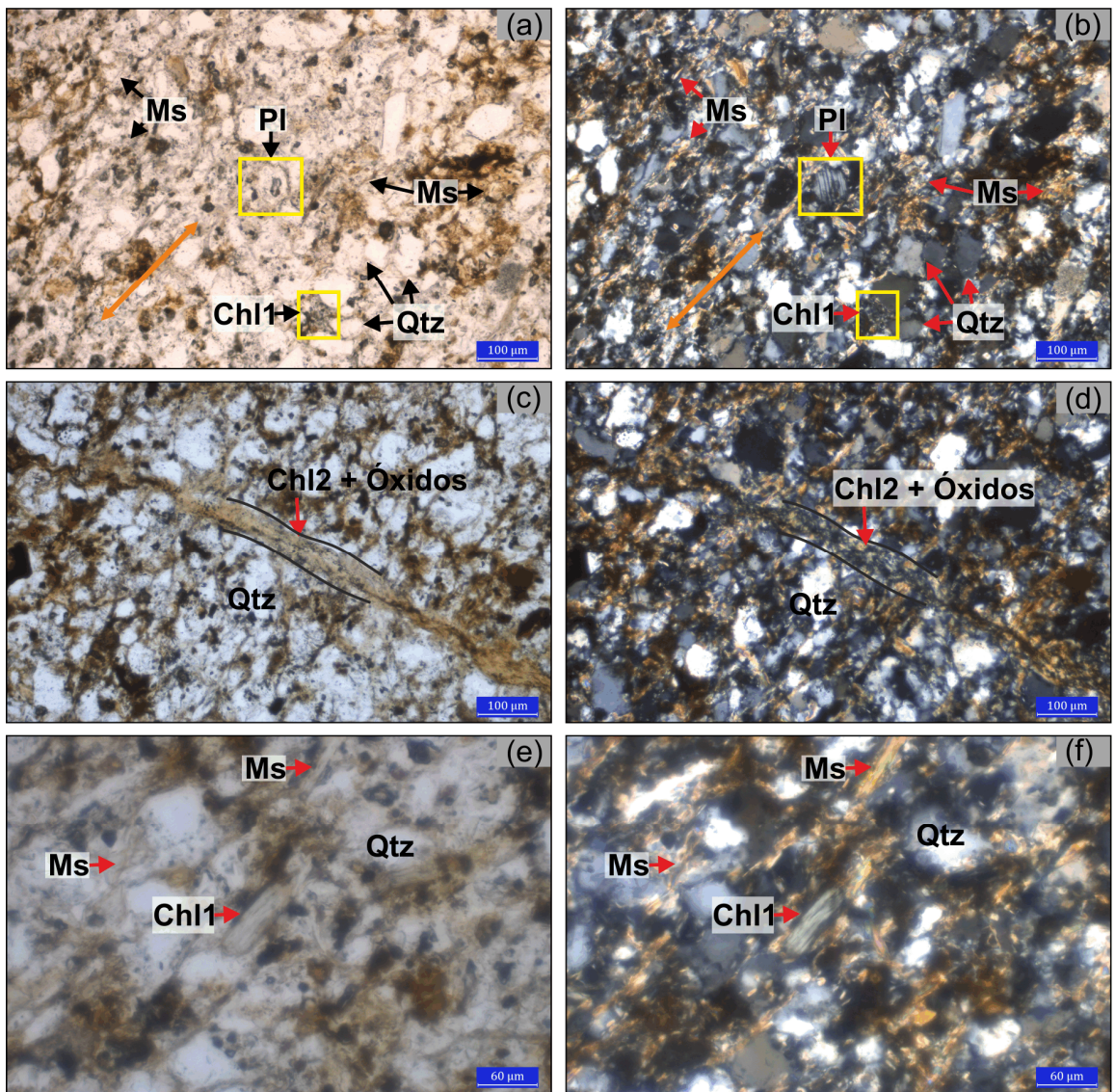
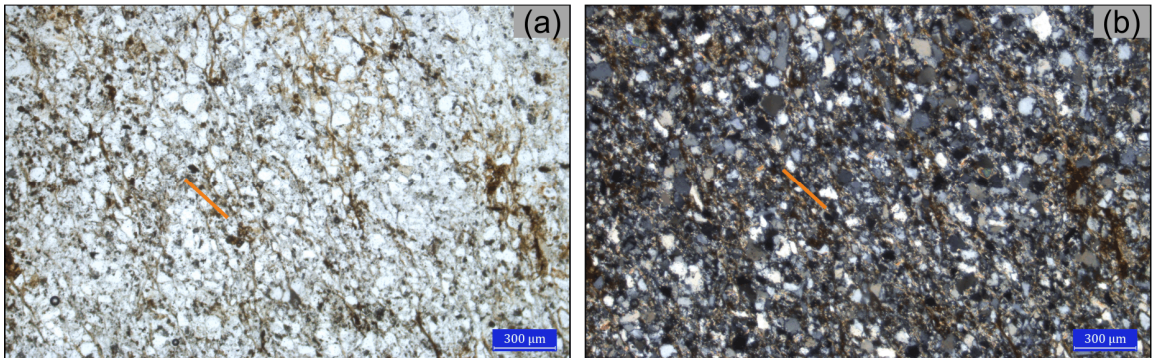


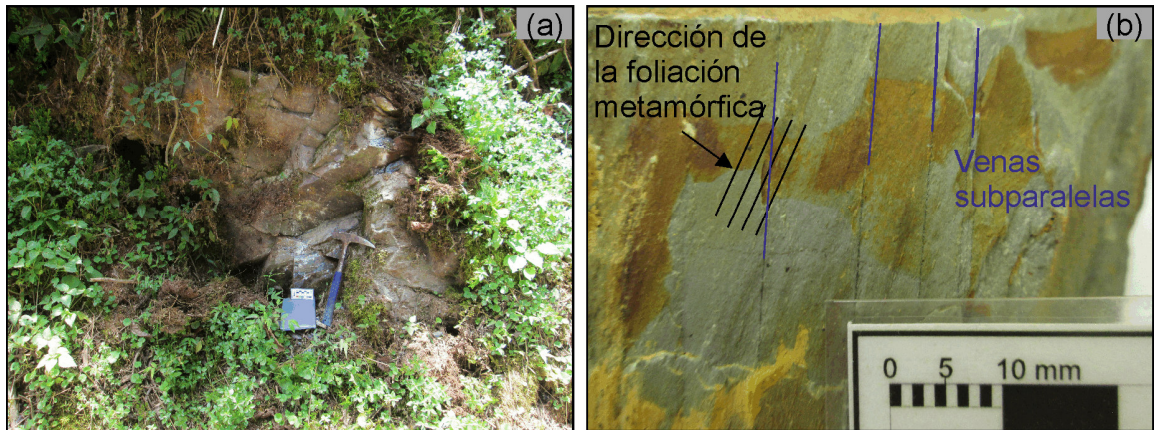
Figura 13. Textura, filita pelítica (PMOG 2-1). (a y b) textura lepidogranoblástica, la línea naranja denota la suave orientación de sus componentes, definida con mayor claridad por los filosilicatos. [Microfotografías en PPL y XPL]



6.3 METALODOLITA (MUESTRA PMOG 3-1)

6.3.1 Muestra de mano. A escala de afloramiento se observó diaclasamiento, éste se encontró medianamente fracturado y presenta plegamientos leves. La muestra tiene tonalidades anaranjadas a café rojizo (relacionadas con oxidación) en las superficies con mayor grado de meteorización; en muestra fresca se observa grisácea, ligeramente verdosa y con brillo sedoso. Es una roca maciza, con tamaño de grano muy fino a ultrafino; tiene una foliación bien desarrollada, ésta es cortada de forma oblicua por una serie de venas dispuestas de forma subparalela entre sí; presenta, además, venas delgadas con una geometría sinuosa y situadas de forma aleatoria. La roca presenta plegamientos. Mineralógicamente se identificó: muscovita, cuarzo y fenocristales de magnetita que al ser lixiviados dejan oquedades en la roca. No se identificaron carbonatos ni sulfuros. (Figura 14).

Figura 14. Afloramiento y muestra de mano, metalodolita (PMOG 3-1).



6.3.2. Descripción mineralógica. En ésta sección, son descritas las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.3.2.1 Muscovita. [33%], agregados de individuos subidioblásticos, en su mayoría equigranulares y homeoblásticos, de relieve bajo, color verde claro, levemente pleocróico y con hábito tabular; algunos exhiben la exfoliación paralela perfecta. Presenta birrefringencia alta con colores de interferencia principalmente amarillos a naranjas de segundo orden con algunos tonos fucsias a azules, el tamaño de grano es ultrafino (predominante), con algunos cristales muy finos. Están intercrecidos con agregados de clorita y pequeños y escasos cristales de cuarzo. Se distribuye homogéneamente en la muestra, es uno de los minerales más abundantes de la roca junto con la clorita (Figura 15e-f). Puede exhibir tonalidades anaranjadas en nicoles paralelos debido a la presencia de óxidos. Algunos cristales han quedado dentro de las venas que contiene la muestra. Está orientada según las foliaciones S_0 y S_1 , siendo uno de los principales indicadores de dichos clivajes.

6.3.2.2 Clorita. [31%], se presentan dos generaciones de clorita.

- **Clorita1.** [25%], agregados concéntricos de individuos tabulares xenoblásticos a subidioblásticos, equigranulares y heteroblásticos, con algunos cristales de hábito acicular. Exhibe un color verde claro, relieve moderado, colores de interferencia bajos, grises a blancos de primer orden y con tamaño de grano entre muy fino y ultrafino. Se encuentra distribuida de forma abundante en la roca, siendo uno de sus principales componentes; está intercrecida con agregados y cristales individuales de muscovita en proporciones variables y con los escasos cristales de cuarzo de la matriz. Algunos individuos pueden encontrarse como inclusiones en venas.
- **Clorita2.** [6%], agregados concéntricos de individuos alargados tabulares de relieve moderado y color verde pálido con pleocroísmo de verde pálido a incoloro, con foliación paralela buena a imperfecta, birrefringencia débil con colores de interferencia anómalos azul Berlín, marrón, dorados, lila y púrpura. Éste mineral se encuentra dentro de algunas venas y se dispone en su mayoría de forma perpendicular al centro de la vena, el cuál puede o no estar compuesto por óxidos; en ocasiones los colores de interferencia se hacen menos evidentes cuando hay ausencia de óxidos en el centro de la estructura. Está presente en las venas de la Familia 1 (Figura 17a-b y 17e-f).

6.3.2.3 Epidota. [5%], cristales subidioblásticos, inequigranulares, heteroblásticos, columnares a granulares de relieve alto a muy alto, de color amarillo verdoso a incoloro y levemente pleocróicos; la exfoliación no es observable, presenta birrefringencia alta con colores amarillos, naranjas, fucsias, azules y verdes de finales de primer orden hasta tercer orden. Es ligeramente abundante, se encuentra a modo de cristaloblóstos con tamaño de grano muy fino (Figura 17c-d) y como agregados (Figura 17g-h).

6.3.2.4 Cuarzo. [19%], se identificaron 3 generaciones de éste mineral.

- **Cuarzo1.** [12%], individuos subidioblásticos, inequigranulares y heteroblásticos con tamaños de grano ultrafino y en ocasiones muy fino; es poco abundante, se distribuye de forma aleatoria conformando parte de la matriz de la roca junto con clorita¹ y muscovita. Algunos cristales de mayor tamaño pueden observarse en forma de porfidoblastos con longitudes promedio de 60µm y con inclusiones de cristales de muscovita cuya relación con las direcciones de clivaje de la matriz es poco clara (Figura 16e-f). Pueden encontrarse individuos con un tamaño relativamente mayor en cercanías a porfidoblastos lixiviados (Figura 16a-b).
- **Cuarzo2.** [5%], se encuentra presente en las venas de la Familia 1 como agregados o como individuos xenoblásticos, inequigranulares y heteroblásticos con tamaño de grano fino a muy fino, en su mayoría con extinción ondulante; están acompañados por óxidos y en ocasiones por relictos de muscovita de la matriz. Tienen relieve bajo, son incoloros, con birrefringencia baja y colores de interferencia grises a blancos del primer orden. (Figuras 17a-b y 17e-f).
- **Cuarzo3.** [2%] presente en las venas de la Familia 2 (Figura 17c-d), individuos o agregados de grano muy fino, acompañados por óxidos.

6.3.2.5 Óxidos. [9%], se distribuyen de forma sectorizada a lo largo de las fracturas y planos de debilidad como S₁ y los bordes de las venas.

6.3.2.6 Minerales opacos. [3%], porfidoblastos heteroblásticos, con geometrías variables rómbicas, cúbicas, piramidales a tabulares; se distribuyen de forma homogénea en la roca, no presentan sombras de presión y se encuentran en tamaños de grano desde ultrafino a medio.

Cuadro 6. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales en la metalodolita (PMOG 3-1).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA		
Relictos		No se evidencia.	Principales (>50%)	No se evidencia.
Metamorfismo progrado		Qtz1, Ms y Chl1	Mayores (>5%)	Ms, Chl1, Ep, Qtz1.
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Menores (1 y 5%)	Chl2, Qtz2, Qtz3, Op y óxidos.
	Procesos posteriores al metamorfismo	Qtz2, Chl2, Qtz3, Ep y óxidos.	Accesorios (<1%)	No se evidencia.
			Esenciales	No se evidencia.

6.3.3 Microtexturas. Presenta una textura lepidoblástica (Figura 15); localmente porfidoblástica pobremente desarrollada en matriz lepidoblástica, donde los porfidoblastos están compuestos por minerales opacos y agregados de epidota, éstos muestran una ausencia de sombras de presión y no presentan inclusiones de material de la matriz, a excepción de algunos porfidoblastos de cuarzo con inclusiones de muscovita. (Figura 16e-f).

Una característica importante de esta muestra es la presencia de dos direcciones de foliación: la primera, es una foliación diagenética relacionada con la estratificación del protolito (S_0), está representada como líneas onduladas y discontinuas pseudoperpendiculares a la foliación que son evidenciadas por la orientación de cristales de clorita y muscovita; la foliación S_1 es una foliación metamórfica continua, evidenciada de igual forma por la orientación de los cristales de muscovita y clorita1, además de cuarzo1 (Ver Figura 15).

6.3.4 Microestructuras. Se observan 2 familias de venas: La primera está conformada por geometrías que tienden a ser rectas, con espesores que varían a lo largo de la misma y se encuentran entre los 100 y 250 μ m (0,1 a 0,25mm); éstas atraviesan la muestra de forma oblicua tanto a la foliación S_0 como a la S_1 (Figura 15c-d), formando un ángulo menor con ésta última; también se encuentran acuñándose o difuminándose en la roca. Una característica particular de ésta familia de venas es que tienden a presentarse de forma paralela a subparalela entre sí, con un espaciamiento de 1 a 7mm. Están compuestas por cloritas (con colores de birrefringencia anómalos) que se distribuyen de forma perpendicular al centro de la vena, es decir, de forma perpendicular a la dirección de propagación de la misma, lo cual se observa con claridad en los fragmentos de las venas cuyo centro está compuesto por óxidos (Figura 17a-b). Contienen pequeñas cantidades de cristales xenoblásticos de cuarzo² con tamaño variable.

Las venas de la familia 1 (**F1**) son cortadas y desplazadas (Figura 17e-f) por venas de menor tamaño pertenecientes a la familia 2 (**F2**); éstas últimas generalmente se muestran muy delgadas ($\sim 7,3\mu$ m) pero pueden alcanzar espesores de 104 μ m (0,1mm). Se distribuyen de forma irregular y no presentan una dirección de propagación determinada; están compuestas por cuarzo³ y óxidos (Figura 17c-d), pueden contener algunos cristales de muscovita y clorita¹ provenientes de la matriz de la roca y, podrían contener una nueva generación de clorita (Chl^{3?}); se orientan de forma oblicua en relación a S_0 y S_1 .

Por último, se encontraron numerosas fracturas, muchas de éstas están concentradas en algunos sectores formando estructuras enmarañadas; presentan espesores muy finos y aprovechan los planos S_0 y S_1 para propagarse. Están rellenas por óxidos que pueden concentrarse en la estructura o expandirse sobre la muestra en general (Figura 17a-b y 17e-f).

Figura 15. Texturas y estructuras, metalodolita (PMOG 3-1). (a y b) textura lepidoblástica, localmente podría considerarse porfidoblástica en matriz lepidoblástica por la presencia de porfidoblastos, principalmente Ep y Op. Se ven dos direcciones de foliación, ambas definidas por la orientación de Chl1 y Ms. S₀ es una estructura relictada relacionada posiblemente con la estratificación del protolito, se evidencia como líneas ligeramente onduladas, irregulares y discontinuas. S₁ es una estructura singenética, morfológicamente continua; (c y d) relación entre las foliaciones y las venas F1, imagen girada 60°; (e y f) textura lepidoblástica conformada por agregados o individuos de Chl1 y Ms.

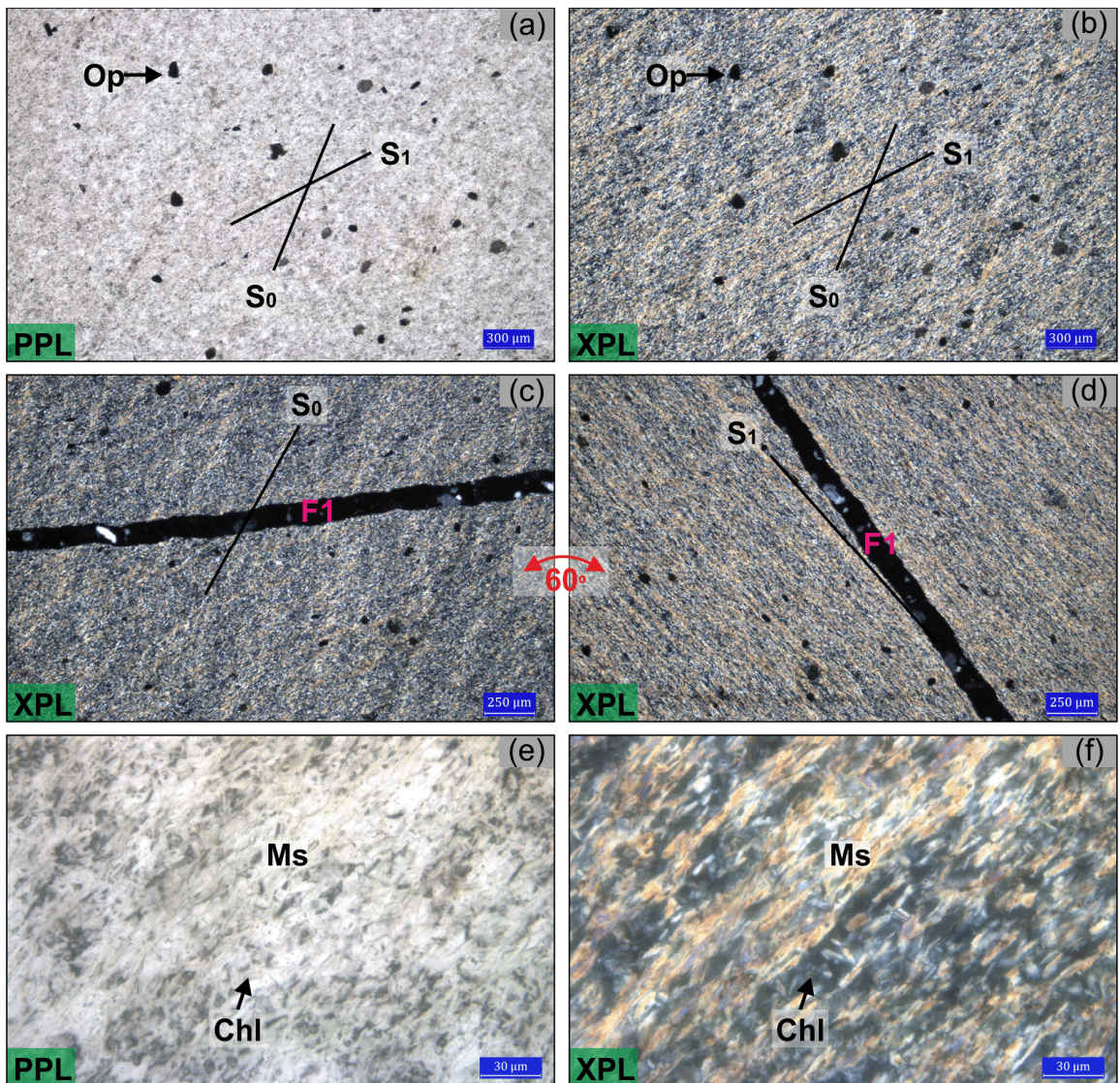


Figura 16. Algunos minerales, metalodolita (PMOG 3-1). (a y b) individuos de Qtz1 con mayor tamaño en el borde de un mineral que ha sido lixiviado; (c y d) cristales de Ep; (e y f) porfidoblastos de Qtz1; (h y g) agregados granulares de Ep.

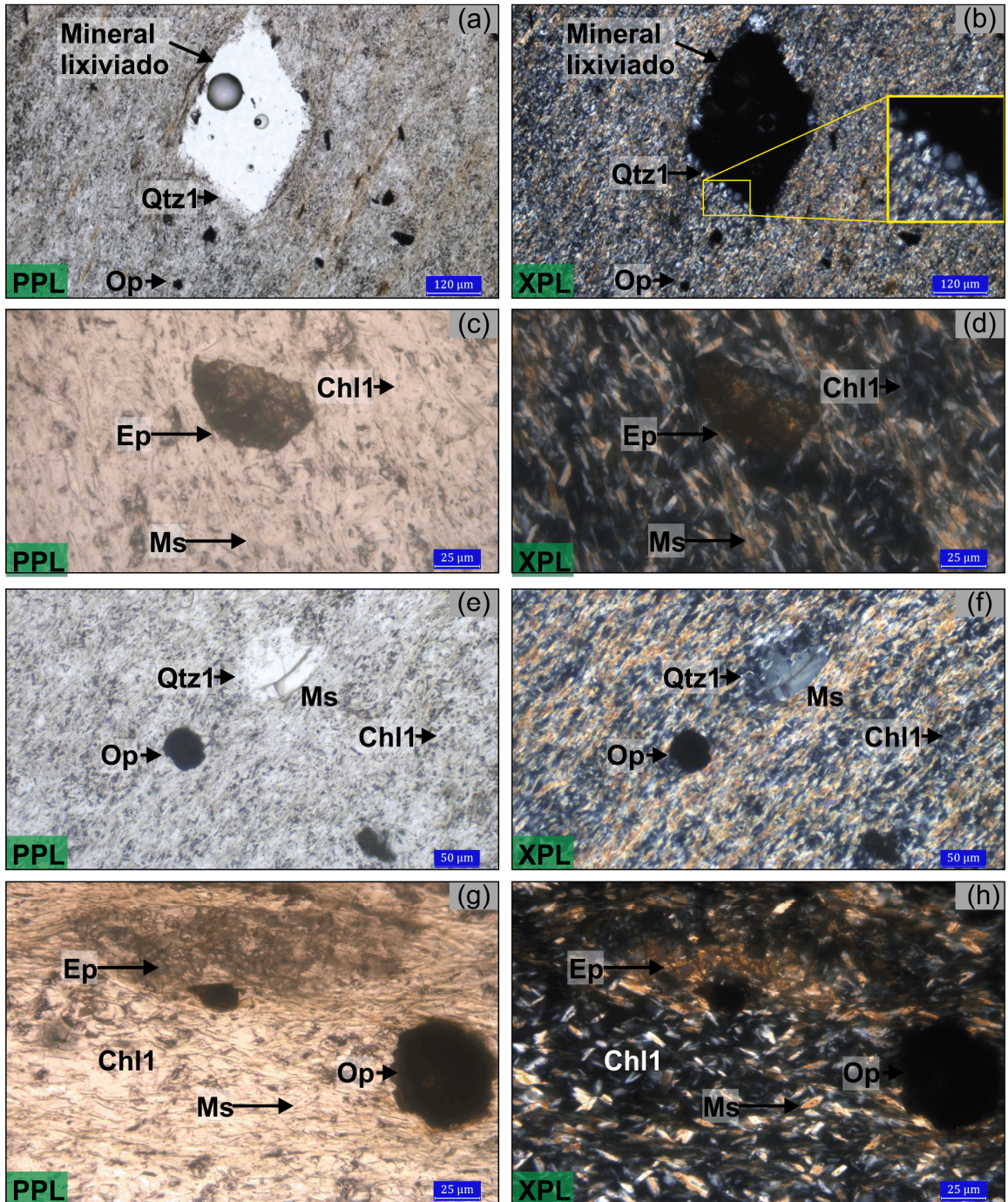
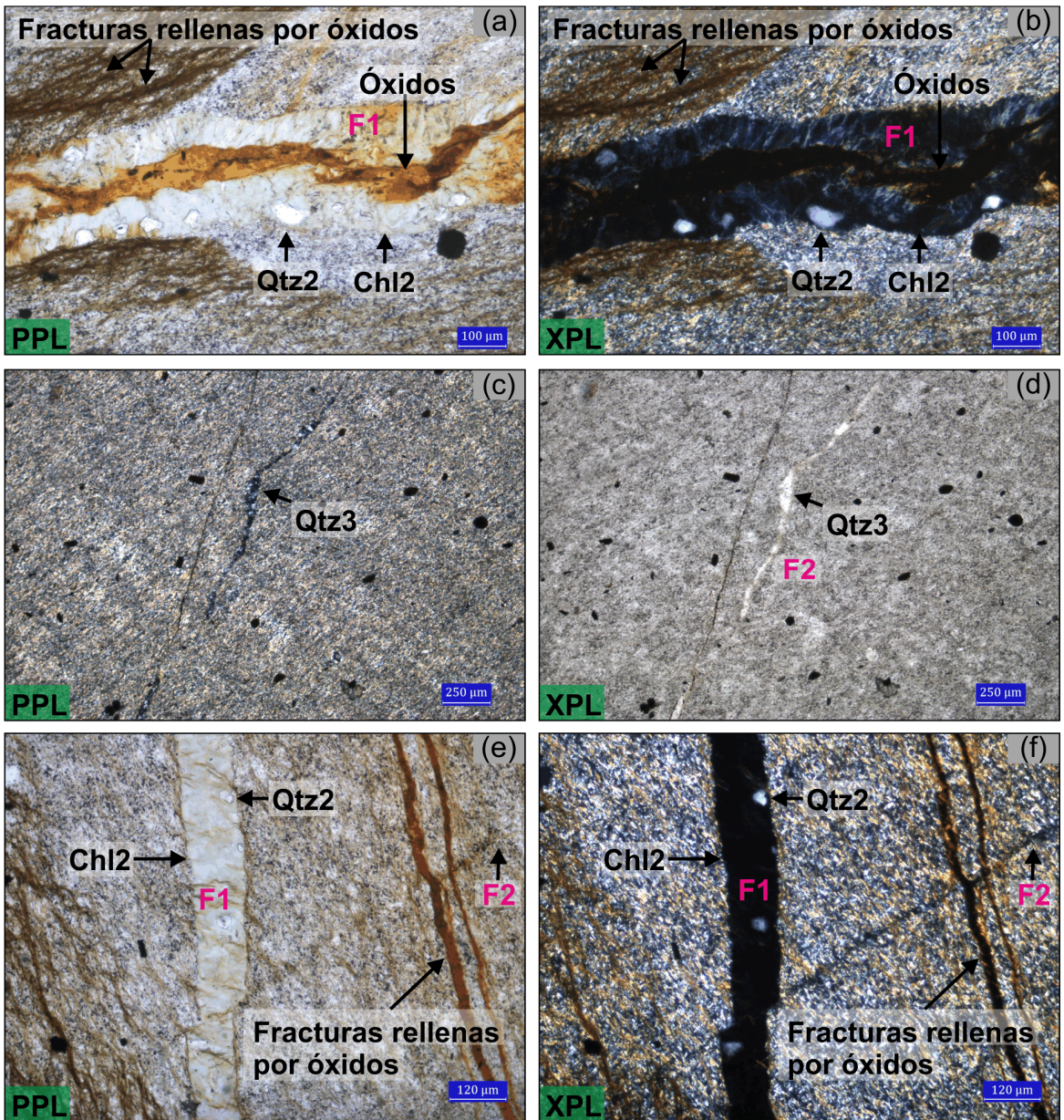


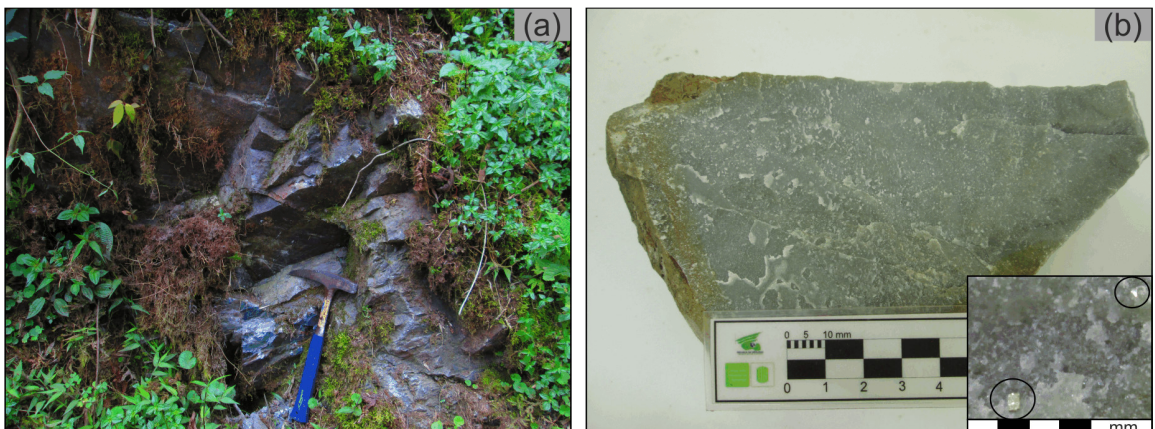
Figura 17. Estructuras, metalodolita (PMOG 3-1). (a y b) se muestra el miembro de la familia de venas F1 con mayor espesor encontrado, estas se conforman por agregados radiales de Chl2 (con colores de interferencia anómalos azul rey), y cristales xenoblásticos de Qtz2, en éste caso contiene óxidos en el centro. Son notorias las extensas estructuras rellenas por óxidos que cortan la vena; (c y d) Venas F2, están conformadas por Qtz3; (e y f) temporalidad de las estructuras, las venas F1 son cortadas por las F2 y éstas últimas por fracturas rellenas por óxidos.



6.4 ROCA METACARBONATADA (MUESTRA PMOG 3-2)

6.4.1 Muestra de mano. Roca maciza con muy bajo grado de meteorización, de tonalidades grisáceas claras, brillo vítreo a perlado y tamaño de grano muy fino; contiene cuarzo y carbonato de calcio en abundancia, evidente al reaccionar con ácido clorhídrico frío. Presenta Sulfuros (sus características apuntan a que se trata de pirita, sin embargo, es posible que también estén presentes otros tipos de sulfuros), ver Figura 18.

Figura 18. Afloramiento y muestra de mano, roca metacarbonatada (PMOG 3-2).



6.4.2 Composición mineralógica. A partir de ésta sección, se describen los datos obtenidos de la muestra a través del análisis de la sección delgada (SD). En el Cuadro 7 se presenta la clasificación genética y cuantitativa de los minerales observados y, finalmente, en la Figura 19, se determina una clasificación más precisa de la roca con base en los porcentajes los componentes minerales obtenidos mediante la petrografía, dichos valores fueron determinados utilizando diagramas de estimación visual de porcentajes.

6.4.2.1 Cuarzo. [38%], se observa una sola generación de individuos incoloros con bajo relieve, xenoblásticos a subidioblásticos, inequigranulares y heteroblásticos de bordes irregulares a difusos, con tamaño de grano muy fino a ultrafino y colores de birrefringencia grises a blancos de primer orden, la mayoría de los individuos presentan extinción ondulante, principalmente aquellos ubicados en los alrededores de las venas de calcita, en donde también se observan agregados de cuarzo, cristales de mayor tamaño, cristales cortados por dichas venas e inclusiones de calcita que aparentan seguir la dirección de la vena. Algunos cristales presentan inclusiones de muscovita. Ver Figuras 20 y 21.

6.4.2.2 Calcita. [40%], se presentan dos generaciones.

- **Calcita1.** [30%], agregados finos incoloros, oscurecidos, compuestos por individuos xenoblásticos a subidioblásticos, inequigranulares y heteroblásticos; se observa variación en el relieve al girar la platina, muestra colores de interferencia pasteles del tercer orden y en algunos cristales se observa fácilmente la exfoliación romboédrica perfecta; presenta maclado polisintético. Se encuentra entre el espacio dejado por los cristales de cuarzo (Figuras 20, 21a-b y 21e-f).
- **Calcita2.** [10%], agregados gruesos incoloros, oscurecidos, compuestos por individuos subidioblásticos a idioblásticos, inequigranulares y heteroblásticos; conforma las venas de calcita que atraviesan la muestra. El relieve varía según la dirección, presenta exfoliación romboédrica perfecta, birrefringencia extrema, colores de interferencia pasteles de tercer orden y dorados iridiscentes (Figura 21a-d).

6.4.2.3 Clorita. [13%], se presentan dos generaciones.

- **Clorita1.** [11%], agregados concéntricos de relieve bajo con tamaños de grano ultrafino, colores de interferencia grises claros de primer orden. Se encuentran moderadamente distribuidos dentro de la roca y está relacionada con calcita1 y cuarzo (Figura 20a-b y 20e-f).

- **Clorita²**. [2%], se presenta en pequeñas venas, son agregados de individuos tabulares, con colores de interferencia grises de primer orden (Figura 20c-f).

6.4.2.4 Muscovita. [3%], cristales subidioblásticos, tabulares, inequigranulares, homeoblásticos y con tamaño de grano ultrafino. Presenta relieve bajo, no se observa la exfoliación. Tiene birrefringencia alta y colores de interferencia azules, amarillos a fucsias de segundo orden. Es poco abundante, puede encontrarse como pequeñas inclusiones en algunos cristales de cuarzo. Ver Figura 20a-c y 20e-f.

6.4.2.5 Epidota. [2%], agregados granulares, con tamaño de grano muy fino, heteroblásticos, subidioblásticos, de relieve alto y color verde claro a incoloro, la exfoliación no se observa con claridad; presenta birrefringencia alta, colores de interferencia amarillos a azules de segundo orden, presenta una leve zonación, es poco abundante. No se presenta como mineral de alteración.

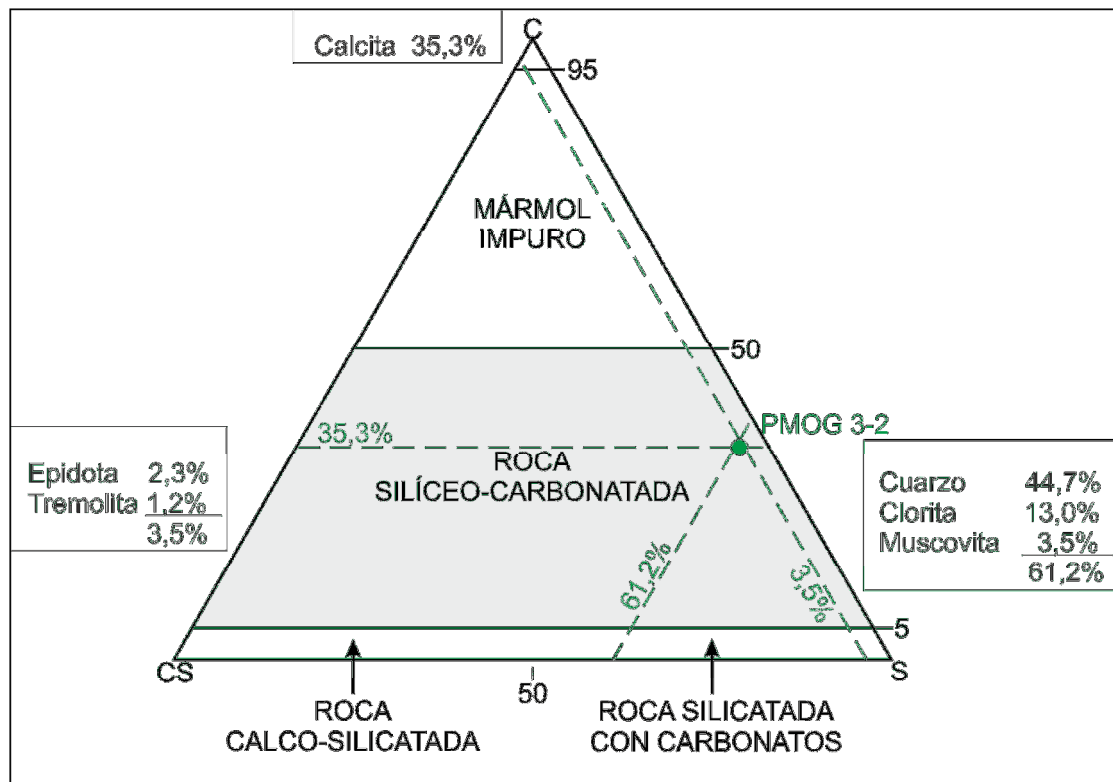
6.4.2.6 Minerales opacos. [3%], porfidoblastos heteroblásticos, inequigranulares e idioblásticos, presentan geometrías variables, principalmente cúbicas a rectangulares, no exhiben sombras de presión, se distribuyen de forma aleatoria y poco abundante dentro de la roca (Figura 21e-f).

6.4.2.7 Tremolita. [1%], escasos individuos subidioblásticos, de grano muy fino, presentes en la matriz y asociados a muscovita y calcita¹; incoloros, no pleocróicos, de relieve moderado, prismáticos y con colores de interferencia fuertes, principalmente rojos.

Cuadro 7. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la roca metacarbonatada (PMOG 3-2)

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA	
Relictos	No se evidencia.	Principales (>50%)	No se evidencia.
Metamorfismo prógrado	Qtz, Cal1, Ms, Ep, Tr y Chl1.	Mayores (>5%)	Qtz, Cal1, Cal2 y Chl1
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Ms, Ep Chl2 y Op.
	Procesos posteriores al metamorfismo	Cal2, Chl2.	Accesorios (<1%) Esenciales

Figura 19. Diagrama para la clasificación de rocas metacarbonatadas o afines aplicado a la muestra metacarbonatada identificada como PMOG 3-2.



Fuente: Modificado por autor, tomado de: GARCÍA RAMÍREZ, Carlos A. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica. Ediciones UIS, 2007. p. 57, figura 19.

Los porcentajes del contenido de minerales, obtenidos a través de la petrografía usando diagramas de estimación visual de porcentajes, fueron utilizados para realizar una clasificación más precisa de la muestra a partir del diagrama para la *clasificación de rocas metacarbonatadas o afines*, presente en García Ramírez⁵⁸ así, ésta puede nombrada como una roca Silíceo-carbonatada (ver Figura 19).

6.4.3 Microtexturas. La muestra presenta una textura granoblástica conformada por cristales de cuarzo y calcita¹; algunos de éstos cristales de cuarzo presentan un tamaño mayor, lo que localmente podría considerarse como una textura porfidoblástica en matriz granoblástica, ligeramente desarrollada (Figuras 20 y 21).

6.4.4 Microestructuras. Los minerales se encuentran levemente orientados de forma concordante con la dirección de orientación preferencial de la roca (Figura 20a-d). Exhibe foliación continua (o clivaje continuo), es decir, no se observan dominios de clivaje o dominios de microlitones, no se observaron estructuras de crenulación. Presenta escasas venas compuestas por cristales de calcita (Figura 21a-d) con tamaños de grano fino a medio; éstas tienen geometrías rectas, espesores promedio de 450 µm y se orientan de forma aleatoria, oblicuas a la esquistosidad principal de la roca. Además, se identificaron pequeñas venas compuestas por agregados finos de clorita (Figura 20c-d y 20e-f); éstas presentan espesores muy finos y exhiben geometrías irregulares, son ligeramente sinuosas y tienen a presentarse de forma aleatoria, aunque tienen a seguir una misma dirección.

⁵⁸ GARCÍA RAMÍREZ, Carlos A. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica..., Op Cit. p. 57.

Figura 20. Texturas y estructuras, roca metacarbonatada (PMOG 3-2). (a y b) textura granoblástica, la presencia de cristales de Qtz de mayor tamaño puede dar lugar a una textura porfidoblástica en matriz granoblástica ligeramente desarrollada, la flecha indica el sentido en el que los minerales tienden a orientarse; (c y d) textura granoblástica, se muestra una estructura conformada por agregados de Chl2. La línea de color magenta ilustra la tendencia de orientación de los minerales; (e) Chl1, asociada al metamorfismo prógrado; (f) se muestran las 2 generaciones de Chl.

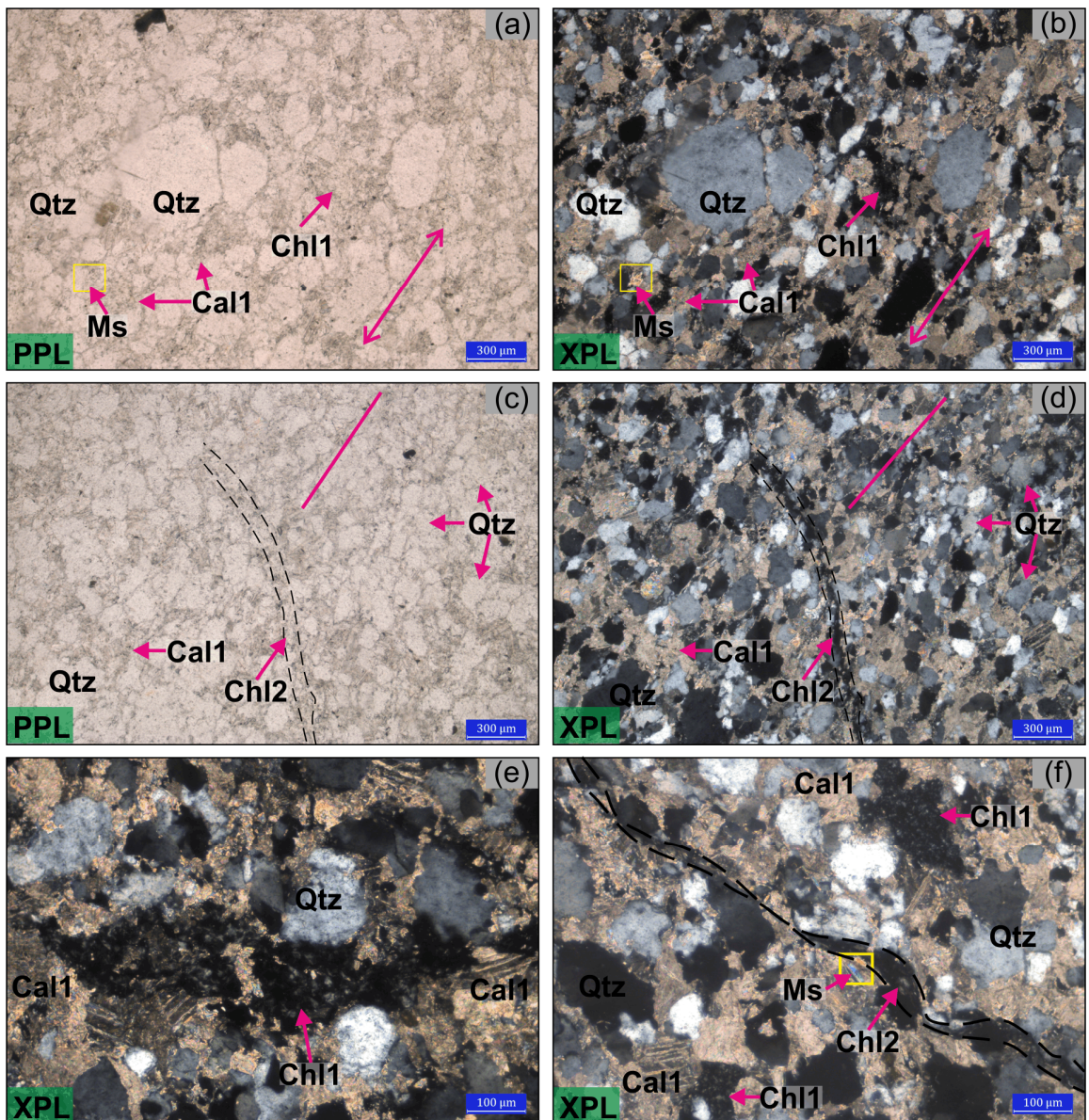
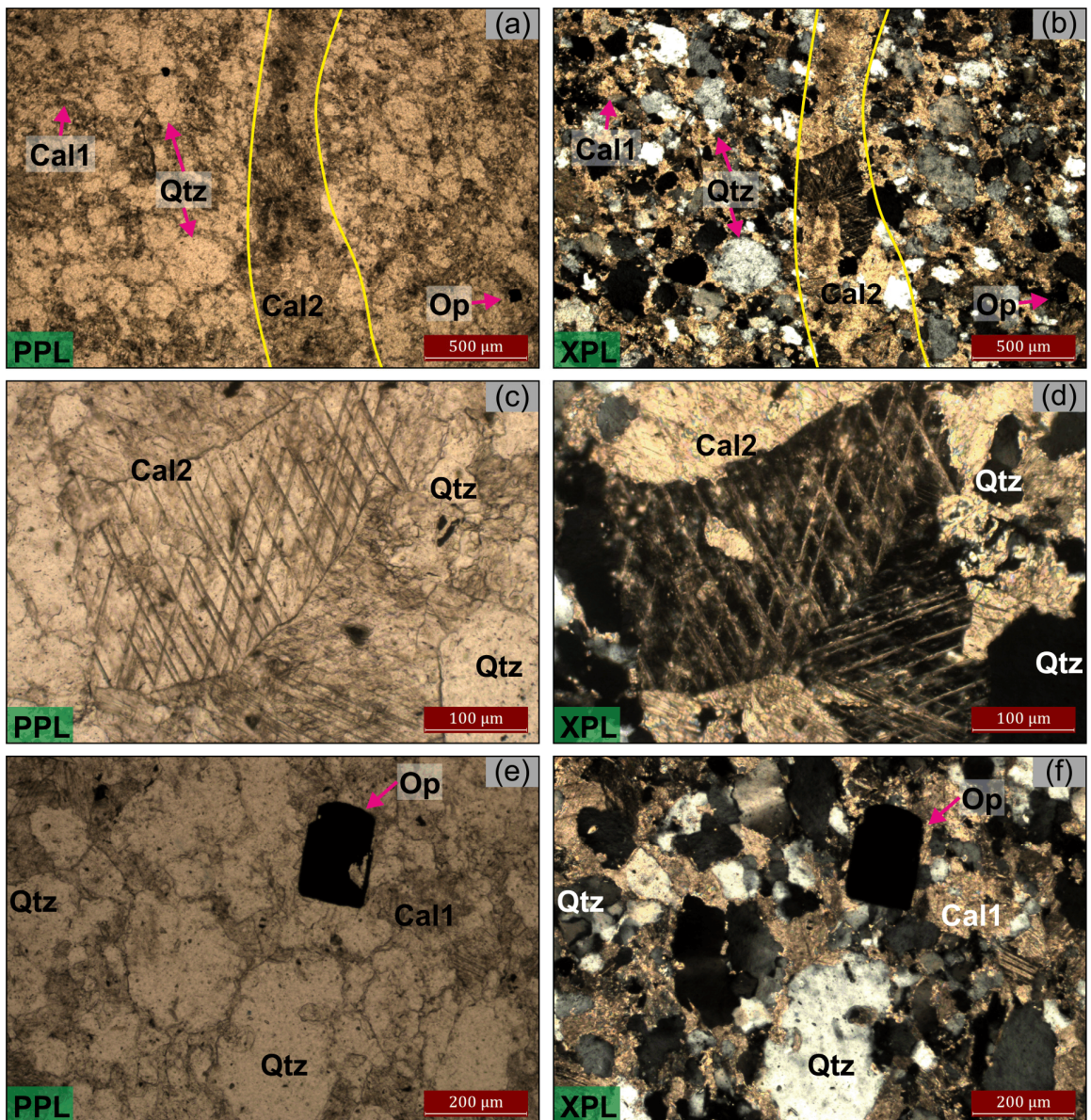


Figura 21. Estructuras y algunos minerales, roca metacarbonatada (PMOG 3-2). (a y b) en el centro, una de las venas de Cal presentes, éstas son poco abundantes, se distribuyen de forma aleatoria y tienen geometrías rectas, los demás componentes de la roca se muestran levemente orientados; (c y d) Cal2, se observa la foliación, relieve, colores de interferencia y macla característica de éste mineral, se encuentra junto con Qtz proveniente de la matriz de la roca; (e y f) textura granoblástica, cristales de Qtz con extinción ondulante y uno de los Op presentes.



6.5 METACUARZO ARENITA DE GRANO FINO (MUESTRA PMOG 3-3)

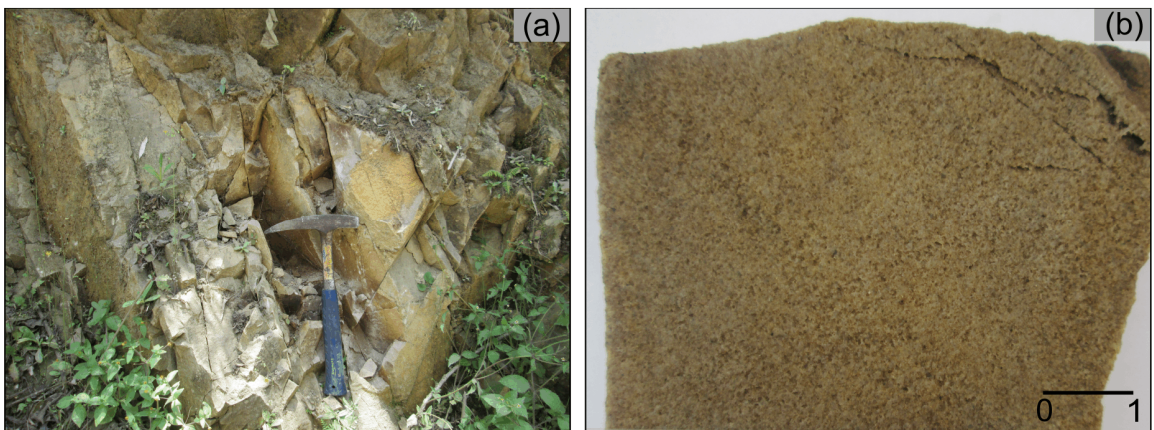
6.5.1 Muestra de mano. A escala de afloramiento se observó un marcado diaclasamiento. La muestra es de tonalidades grisáceas a ocres claros, con base en criterios sedimentarios se puede clasificar como una cuarzoarenita de grano fino, bien calibrada, compuesta mineralógicamente por: cuarzo (83%) con algo de minerales arcillosos (10%), micas (5%) y minerales pesados (2%), es composicionalmente madura. Texturalmente, se forma de granos esféricos, angulares a sub-redondeados, porosidad entre-partícula primaria y secundaria (30%) incluyendo volúmenes muy bajos de porosidad por fractura de carácter menor; armazón o matriz areno-soportada (50%), matriz lodosa (10%), cemento silíceo (10%) y contacto entre partículas puntual o tangencial (predominantemente). Debido a que los componentes se encuentran levemente orientados, indicando que la roca pudo estar afectada por el metamorfismo de bajo grado presente en la zona, el nombre puede incluir el prefijo “meta”. La alta porosidad se asocia a procesos de lixiviación. La roca también presenta componentes en fracciones de tamaño arena muy fina a arena media, pero en menor proporción en relación a la arena fina. No hay reacción con HCL frío, no hay presencia de sulfuros (Figura 22).

6.5.2 Composición mineralógica. En ésta sección, son descritas las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.5.2.1 Cuarzo. [56%], cristales inequigranulares, heteroblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos, de bajo relieve, incoloros, con birrefringencia baja y colores de interferencia grises a blancos de primer orden. La mayoría de los cristales presentan extinción ondulante (de tipo *sweeping* y *patchy*), los contactos entre los granos de cuarzo tienden a ser lobulados por migración de borde de grano; algunos individuos

presentan una forma elongada y una orientación preferencial levemente desarrollada; pueden contener numerosas inclusiones, algunas son cristales de muscovita, sin embargo, la gran mayoría de inclusiones son difíciles de clasificar a ésta escala debido a su diminuto tamaño. El cuarzo se distribuye de forma abundante y heterogénea, es el principal componente de la roca (Figuras 23 y 24).

Figura 22. Afloramiento y muestra de mano, meta(?)cuarzoarenita de grano fino (PMOG 3-3).



6.5.2.2 Muscovita. [4%], individuos subidioblásticos, tabulares, alargados, principalmente homeoblásticos y equigranulares, con tamaño de grano ultrafino, incoloros a ligeramente verdosos, de relieve bajo, birrefringencia alta y colores de interferencia de segundo orden. Se distribuyen de forma aleatoria en la roca, como parte de la matriz o como inclusiones en los cristales de cuarzo; son poco abundantes, rara vez en forma de agregados alargados en la matriz (Figura 23a-b).

6.5.2.3 Clorita. se presentan dos generaciones.

- **Clorita1.** [24%], agregados concéntricos con tamaño de grano ultrafino, color verde amarillento claro, pleocroísmo leve, relieve bajo y colores de interferencia grises claros de primer orden. Se distribuyen de forma homogénea y levemente abundante en la muestra, conformando la matriz de la misma y ubicándose entre los espacios de los cristales de cuarzo. Tiende a recristalizar en los bordes de los porfidoblastos, presentando allí un hábito fibroso y algunos colores de interferencia anómalos como azul violáceo (principalmente), dorados y púrpuras. (Figuras 23 y 24). Algunos sectores han sido afectados por óxidos.
- **Clorita2.** [2%], rellenando pequeñas fracturas; son agregados de individuos tabulares, con colores de interferencia grises de primer orden.

6.5.2.4 Feldespato potásico. [5%], individuos incoloros, en ocasiones ligeramente oscurecidos, xenoblásticos, con colores de interferencia blancos a grises. No presentan maclas. Se observaron de forma escasa.

6.5.2.5 Óxidos. [4%], se encuentran dentro de la matriz como agregados de individuos microgranulares, distribuidos de forma aleatoria, ligeramente abundantes; también están presentes rellenando algunas fracturas de la roca, están relacionados con la Ep (Figura 24e-f).

6.5.2.6 Minerales opacos. [4%], porfidoblastos heteroblásticos, inequigranulares, en su mayoría idioblásticos con geometrías variables, cuadradas, rómbicas y rectangulares; la clorita de la matriz puede estar recristalizada en los bordes de éstos minerales. Presentan tamaños de grano muy fino a fino y están afectados por óxidos, mostrándose ligeramente anaranjados (Figuras 23g-h y 24c-d).

6.5.2.7 Epidota. [1%], individuos subidioblásticos, inequigranulares, heteroblásticos, de relieve moderado a alto, incoloro a ligeramente amarillento, presente en la matriz, pero asociado aparentemente a los óxidos; muestra colores de interferencia desde finales de primer orden hasta el tercero y exhibe zonación una ligera zonación. Es un mineral escaso. (Figura 24e-f).

Cuadro 8. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de metacuarzoarenita (PMOG 3-3).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA	
Relictos		No se evidencia.	Principales (>50%) Qtz
Metamorfismo progrado		Qtz, Ms y Chl1	Mayores (>5%) Ms y Chl1
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Menores (1 y 5%) Chl2, Ep, óxidos y Op
	Procesos posteriores al metamorfismo	Ep, Chl2 y óxidos.	Accesorios (<1%) Esenciales No se evidencia.

6.5.3 Microtexturas. La muestra presenta una textura granoblástica, conformada principalmente por individuos o agregados de cuarzo (Figuras 23 y 24).

6.5.4 Microestructuras. Los componentes de la muestra exhiben una leve orientación preferencial. La muestra presenta algunas fracturas rellenas por agregados de clorita₂, con un espesor promedio de 80µm y orientadas de forma aleatoria con una geometría recta a ligeramente sinuosa (ver Figura 23).

Figura 23. Texturas y estructuras, metacuarzoarenita (PMOG 3-3). (a-h) textura granoblástica, la línea amarilla denota la orientación preferencial de la roca. El Qtz presenta diversos tamaños, se muestra una fractura y algunos Op rodeados por Chl1.

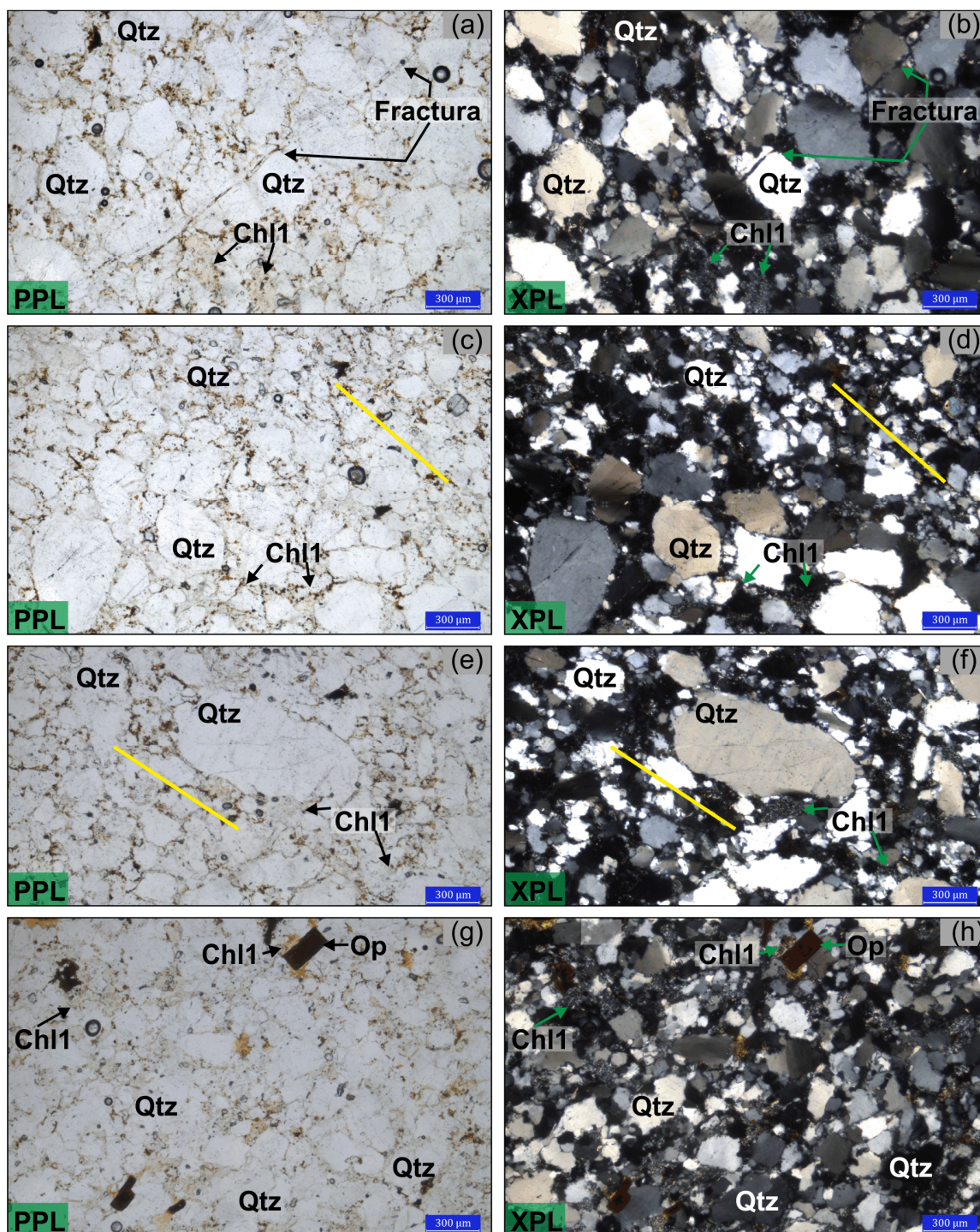
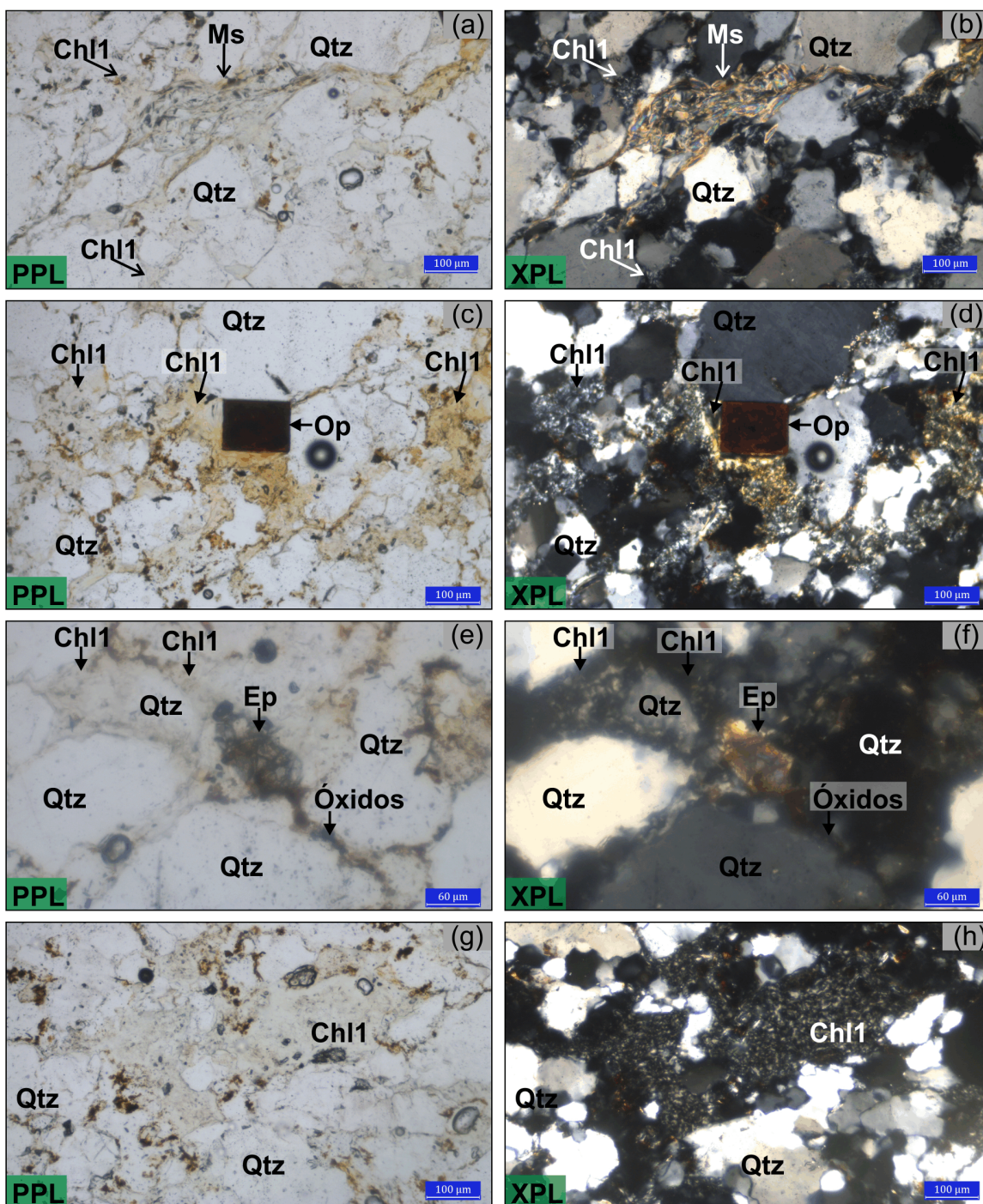


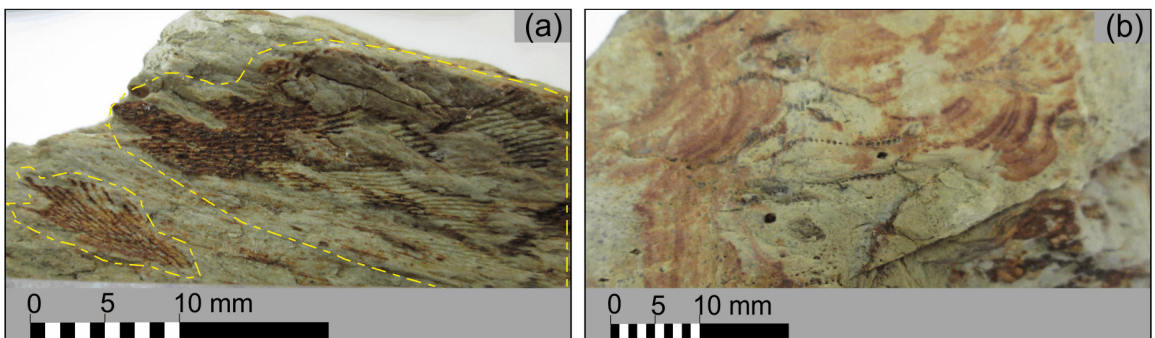
Figura 24. Algunos minerales, metacuarzoarenita (PMOG 3-3). (a y b) agregados de Ms, éstos son escasos; (c y d) agregados de Chl1 recrystalizados en los bordes de cristales de Op; (e y f) cristal de Ep asociado a óxidos; (g y h) agregados de Chl1.



6.6 ARCILLOLITA SHALE FOSILÍFERA (MUESTRA PMOG 3-4)

6.6.1 Muestra de mano. En afloramiento se observaron geomorfologías suaves, diaclasamiento y fisilidad (Figura 25). La muestra está conformada por partículas tamaño arcilla (>70%) con alto contenido de filosilicatos, principalmente muscovita; se encuentra muy bien calibrada, tiene empaquetamiento cerrado, armazón lodosoportado, baja porosidad primaria y buena porosidad secundaria, principalmente intrapartícula producida por la disolución/remoción parcial o total de granos detríticos, por disolución de fósiles produciendo porosidad de molde y, por porosidad asociada a fracturas de carácter menor. En muestra fresca presenta colores crema claros, en muestra alterada exhibe tonos ocres claros a oscuros. Es una roca no competente, poco compactada, se disgrega con facilidad, presenta fisilidad y una aparente orientación de sus componentes, además de abundantes planos de debilidad. Tiene un alto contenido de pseudofósiles representado por moldes cuyas longitudes medidas alcanzan valores hasta de 4,5cm; contiene fragmentos de roca o clastos poco preservados y de tamaño arena gruesa. No reacciona con HCL frío, no contiene sulfuros. Ésta muestra no tiene lámina delgada.

Figura 25. Arcillolita shale fosilífera (PMOG 3-4). Se observa la presencia de fósiles poco conservados y pseudofósiles.



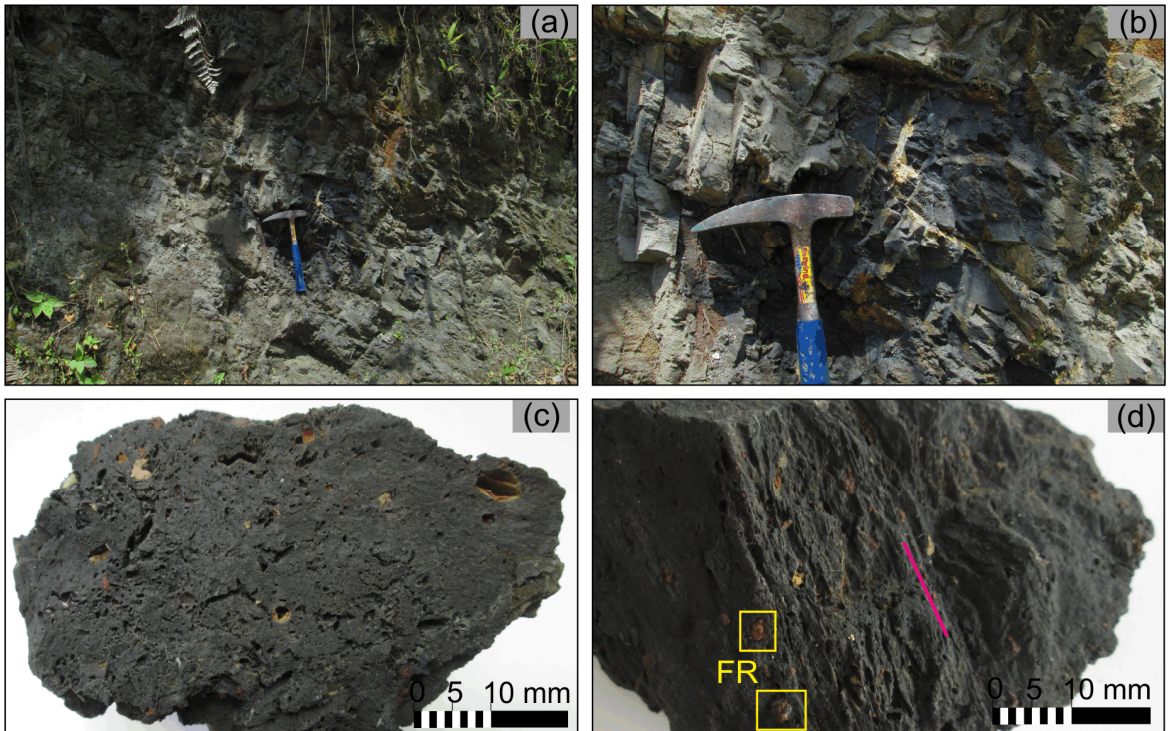
6.7 LODOLITA ARENOSA (MUESTRA PMOG 4-1)

6.7.1 Muestra de mano. Al igual que los anteriores, el afloramiento del cual se extrajo esta roca, exhibe diaclasamiento y en general, representa una buena exposición (Figura 26a-b), sin embargo, los contactos con los demás litotipos no se definieron con claridad; este sector hace parte de un bloque aparentemente fallado y las rocas parecen más joven que las demás muestras. Litológicamente, ésta roca es una lodolita arenosa de color grisáceo oscuro a negro, con alto contenido de materia orgánica, fósiles parcialmente lixiviados, pseudofósiles y fragmentos de roca (FR) predominantemente arcillosos. Sus componentes se encuentran aparentemente orientados en una dirección preferencial. Los FR muestran tonalidades ocre a anaranjados, de proveniencia aparentemente sedimentaria y baja dureza, contienen algunos cristales de muscovita y tamaños que van desde arena muy fina a gránulos, son fragmentos angulares y no esféricos. También están presentes fragmentos con cristales de sulfuros, posiblemente pirita. Contiene restos fósiles, que han sido disueltos o removidos casi en su totalidad dando lugar a la formación de porosidad secundaria y pseudofósiles con geometrías diversas, algunos rellenos por cristales depositados en procesos posteriores a los que generaron la roca. Ver Figura 26c-d. Ésta muestra no cuenta con SD o SDP.

6.8 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 5-1)

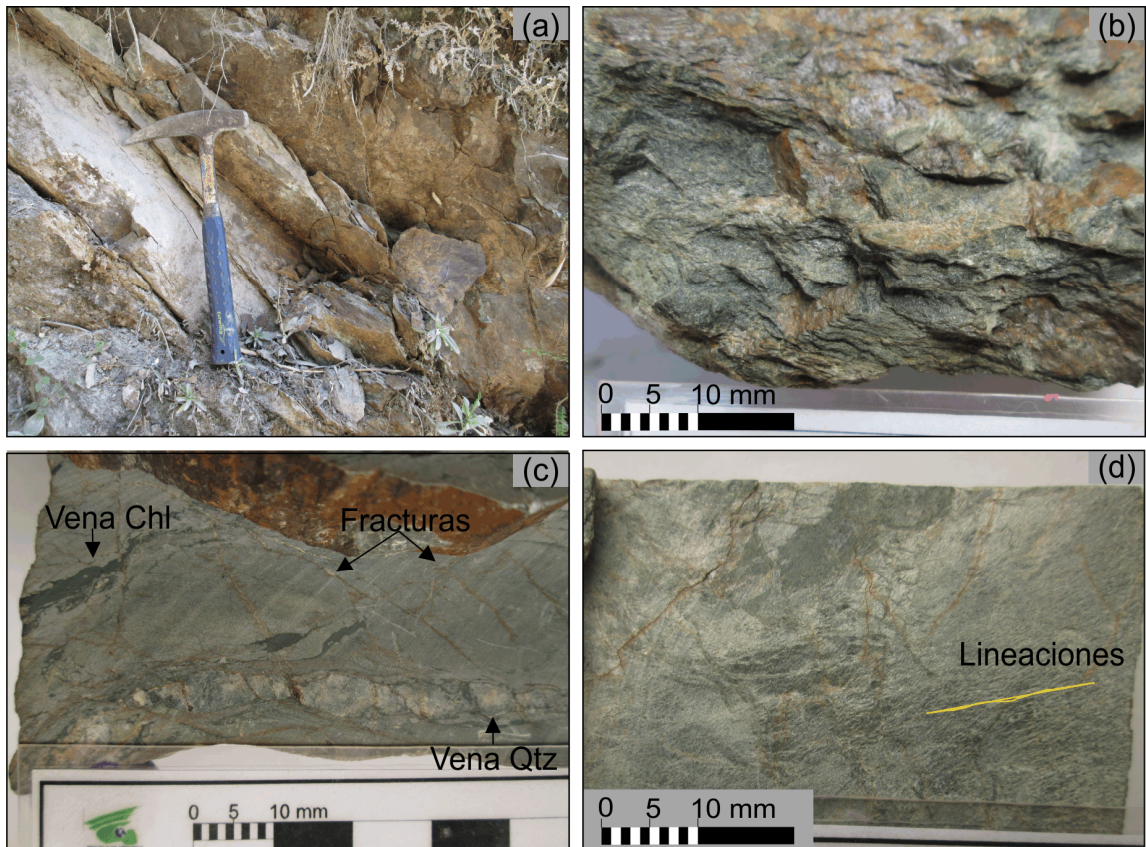
6.8.1 Muestra de mano. El afloramiento se observó diaclasado, está mediadamente fracturado y meteorizado (Figura 27a). La muestra es una roca de tonos pardo anaranjado, ocre a café en la zona meteorizada, con algunos tonos azulosos de brillo metálico; en muestra fresca exhibe colores grisáceos verdosos a verdes oscuros y brillo sedoso.

Figura 26. Afloramiento y muestra de mano, lodolita arenosa (PMOG 4-1). (a y b) aspecto general del afloramiento; (c) en su mayoría, las cavidades observadas corresponden a abundantes fósiles parcialmente lixiviados y a pseudofósiles; (d) se observan algunos de los FR de roca, la línea indica la dirección de clivaje observada.



Ésta muestra presenta un tamaño de grano muy fino a ultrafino y composición pelítica. Se identificó una marcada foliación, además de lineaciones y fracturas a lo largo de toda la muestra que crean microdesplazamientos; éstas últimas rellenas por minerales arcillosos, óxidos o clorita. Hay presencia de venas de cuarzo y clorita; dichas estructuras tienen una geometría variable, algunas tienden a seguir una trayectoria recta, pero se vuelven ligeramente sinuosas o curvadas y otras son fuertemente sinuosas o con geometría lenticular y pueden difuminarse rápidamente dentro de la roca; se midieron espesores hasta de 8mm para las venas de cuarzo. Mineralógicamente, se pudieron reconocer: muscovita, clorita, magnetita y cuarzo (principalmente en las venas), ver Figura 27b-d.

Figura 27. Afloramiento y muestra de mano, filita pelítica (PMOG 5-1). (a) aspecto general del afloramiento; (b) foliación principal de la muestra; (c y d) cortes de la muestra, se resaltan las venas, las fracturas y las lineaciones.



6.8.2 Composición mineralógica. En ésta sección, son descritas las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.8.2.1 Muscovita. [33%], agregados hojosos compuestos de individuos tabulares con terminaciones irregulares, subidioblásticos, inequigranulares y heteroblásticos, incoloros a verde claro y levemente pleocróicos, con bajo relieve y tamaño de grano principalmente ultrafino a muy fino. Presentan birrefringencia alta con colores de interferencia principalmente amarillos, azules, fucsias a verdes del segundo orden.

Se encuentran orientados de forma concordante con las dos direcciones de foliación de la muestra. Es uno de los principales componentes de la roca, se distribuye de forma homogénea y abundante (observable en las Figuras 28a-b y 29a-b). Está intercrecida con agregados de clorita y menores cantidades de cuarzo¹; algunos cristales han quedado dentro de las venas como inclusiones.

6.8.2.2 Clorita. [32%], se presentan dos generaciones.

- **Clorita1.** [24%], agregados de individuos tabulares, subidioblásticos, principalmente equigranulares y heteroblásticos, de relieve bajo y color verde claro a incoloro, pleocróico. Tienen birrefringencia alta y colores de interferencia grises claros a amarillos de primer orden. El tamaño de grano es ultrafino a fino (en menor proporción), se encuentra estrechamente relacionado con muscovita y cuarzo¹, se distribuye de forma homogénea y abundante dentro de la muestra, es uno de los principales componentes de la matriz de la roca; éste mineral se encuentra orientado concordantemente con las direcciones de foliación de la muestra. Puede hallarse como relictos en las venas. (Ver Figuras 28a-b y 29a-b).
- **Clorita2.** [8%], se presenta como individuos o agregados radiales de cristales hojosos, tabulares, principalmente subidioblásticos, heteroblásticos e inequigranulares; son pleocróicos de color verde limón, verde amarillento a incoloro, tienen un relieve bajo y exfoliación paralela perfecta; muestran colores de interferencia anómalos en tonos azul violáceo, púrpura y dorados. Conforman venas junto con cuarzo y epidota. (visible en la Figura 29).

6.8.2.3 Cuarzo. [17%], se presentan dos generaciones.

- **Cuarzo1.** [8%], Individuos incoloros, heteroblásticos, xenoblásticos e inequigranulares, incoloros y de bajo relieve, con tamaño de grano muy fino a ultrafino; exhiben colores de interferencia grises a blancos de primer orden, está

estrechamente ligado a Clorita1 y muscovita, se distribuye aleatoriamente en la muestra formando parte de la matriz, es poco abundante (Figura 28a-b).

- **Cuarzo2.** [9%], conformando algunas de las venas de la roca, puede estar acompañado por clorita2 y epidota. Son individuos inequigranulares con tamaño de grano muy fino a medio, heteroblásticos y xenoblásticos; tienen numerosas inclusiones y, en su mayoría, no presentan extinción ondulante (Figura 29).

6.8.2.4 Minerales opacos. [10%], porfidoblastos heteroblásticos, inequigranulares, en su mayoría idioblásticos con geometrías variables, cuadradas, rómbicas y rectangulares. Se distribuyen ampliamente, pero se concentran preferentemente en franjas pseudoparalelas a la dirección de foliación S_2 , no presentan sombras de presión, se encuentran en tamaños de grano desde ultrafino a medio.

6.8.2.5 Óxidos. [5%], se distribuyen de forma extensa en la muestra a través de los diferentes planos de debilidad presentes, pueden encontrarse, además, como agregados de cristales microgranulares en la matriz de la roca.

8.6.2.6 Epidota. [3%], individuos incoloros, amarillo limón a amarillo verdoso, pleocróicos, heteroblásticos, subidioblásticos, de hábito granular, bastante fracturados, con birrefringencia alta y colores de interferencia desde finales del primer orden hasta tercer orden. En contacto con cuarzo2, clorita2 y al parecer también con óxidos. Se encuentran dentro de algunas de las venas de la muestra (Figura 29c-d).

Cuadro 9. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 5-1).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA	
Relictos		No se evidencia.	Principales (>50%)
Metamorfismo prógrado		Ms, Chl1 y Qtz1	Mayores (>5%)
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Menores (1 y 5%)
	Procesos posteriores al metamorfismo	Chl2, Qtz2, óxidos, Ep y Op.	Accesorios (<1%)
			Esenciales
			No se evidencia.
			No se evidencia.

6.8.3 Microtexturas. Textura Lepidoblástica (Figura 28), localmente podría considerarse como porfidoblástica levemente desarrollada en matriz lepidoblástica.

6.8.4 Microestructuras. Hay dos direcciones de foliación (S_1 y S_2), ambas definidas por agregados de muscovita, clorita y, cuarzo (en menor cantidad). Se observa una microestructura de crenulación desarrollada localmente en mayor o menor grado, siendo menos evidente en los sectores que concuerdan espacialmente con las franjas de mayor concentración de minerales opacos (figura 28c-f). La estructura es claramente metamórfica. Contiene venas conformadas por cuarzo₂, a veces acompañado de clorita₂ y, bajas proporciones de Ep; éstas estructuras alojan fragmentos de la matriz en forma de lentes y cristales principalmente de muscovita. Dichas venas tienen espesores entre 250µm(0.25mm) y 2.400µm(2.4mm), exhiben trayectorias rectas, aunque ligeramente sinuosas. Es posible las venas hayan sido afectadas por las dos foliaciones de la roca, ya que localmente se evidencia una concordancia entre la crenulación y la orientación de los componentes de la vena (Figura 29g-h). Hay fracturas rellenas por óxidos distribuidas de aleatoriamente, aunque tienden a seguir los planos de debilidad y pueden cortar o bordear las venas.

Figura 28. Textura y estructuras, filita pelítica (PMOG 5-1). (a y b) se observa una microestructura de crenulación, ambas foliaciones están formadas por agregados de Chl1+Ms con pequeñas cantidades de Qtz1; (c y d) la mayoría de los Op se agrupan en bandas subparalelas a S₂, la crenulación se evidencia en mayor medida en los sectores donde la presencia de éstos minerales es menor, en (e y f) se muestra un acercamiento que permite observar dichos detalles de forma más clara.

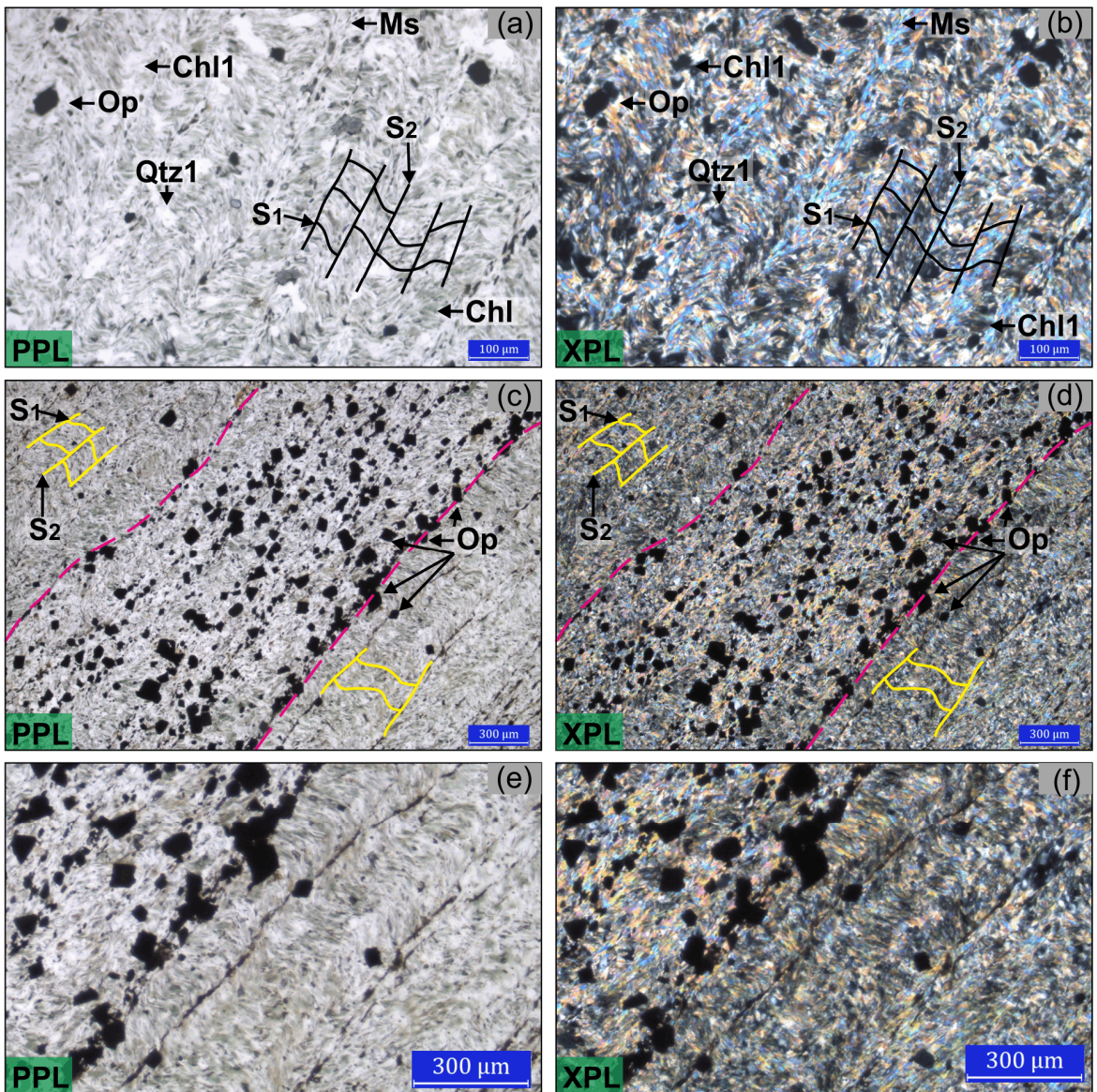
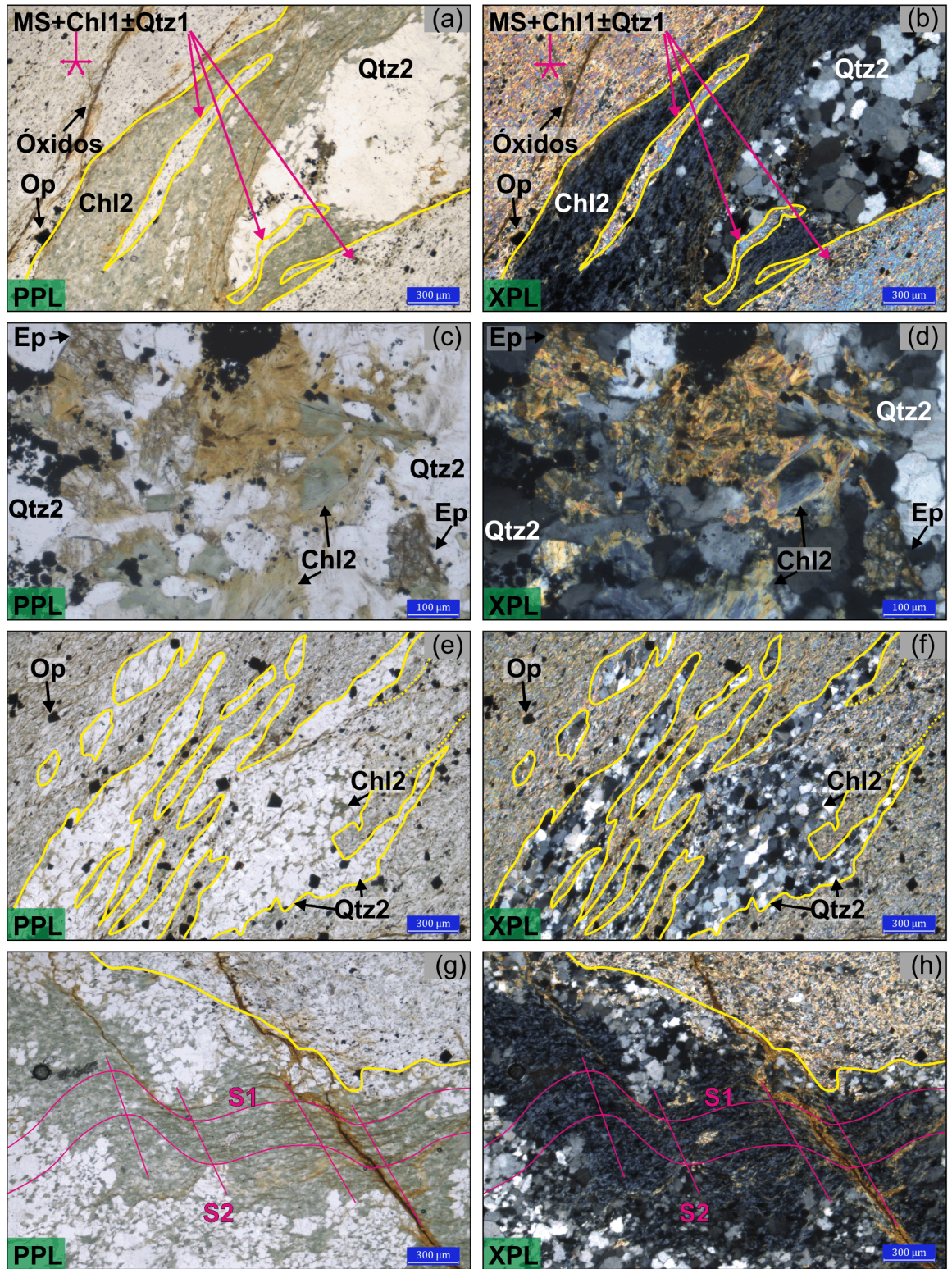


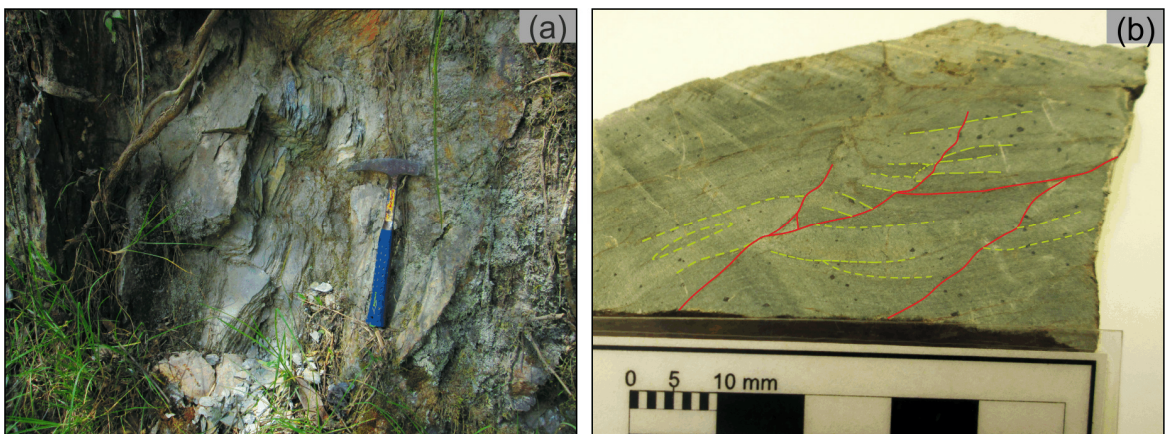
Figura 29. Estructuras en filita pelítica (PMOG 5-1). (a-h) estructuras en venas.



6.9 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 5-2)

6.9.1 Muestra de mano. En afloramiento se observó un grado medio de meteorización, diaclasamiento y fracturamiento (Figura 30a). La muestra es una roca de color pardo anaranjado, ocre a café, con algunos tonos oscuros de brillo metálico en las zonas con mayor grado de meteorización; en muestra fresca exhibe colores grisáceos a grisáceos verdosos. Presenta foliación bien desarrollada, muestra plegamientos y microfracturas que generan microdesplazamientos (Figura 30b), contiene numerosas venas de cuarzo que aparentan seguir el clivaje principal de la muestra. Mineralógicamente contiene muscovita, clorita, cuarzo y magnetita. Tiene un alto contenido de minerales hojosos. El tamaño de grano de la roca es muy fino a ultrafino, homogéneo en toda la muestra; exhibe un alto contenido de cristales de magnetita. Algunas fracturas están rellenas de minerales arcillosos y óxidos.

Figura 30. Afloramiento y muestra de mano, filita pelítica (PMOG 5-2). (a) aspecto general del afloramiento; (b) la roca presenta un tamaño de grano muy fino a incluso ultrafino, foliación, numerosas venas de Qtz y un fuerte fracturamiento (delimitado vagamente por líneas rojas) que produce notorios desplazamientos, es evidente, además, el alto contenido de cristales de magnetita.



6.9.2. Composición mineralógica. En ésta sección, son descritas las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.9.2.1 Muscovita. [30%], agregados hojosos de individuos con tamaño de grano muy fino a ultrafino, subidioblásticos a xenoblásticos, en su mayoría equigranulares y heteroblásticos, de bajo relieve, incoloros a verde claros y levemente pleocróicos, algunos con exfoliación paralela perfecta. Presenta birrefringencia alta con colores de interferencia principalmente amarillos, azules, fucsias a verdes del segundo orden. Es uno de los principales componentes de la roca, se distribuye de forma homogénea y abundante y, se encuentra orientado de forma concordante con las dos direcciones de foliación presentes, siendo básicamente el principal mineral indicador de dichas foliaciones. Está en contacto con clorita1 y cuarzo1, también puede encontrarse como inclusiones en las venas de cuarzo. Ver Figuras 31 y 32.

6.9.2.2 Clorita. [35%], se presentan dos generaciones.

- **Clorita1.** [25%], agregados de individuos tabulares, subidioblásticos a xenoblásticos, en su mayoría equigranulares, heteroblásticos y con tamaño de grano muy fino a ultrafino; son incoloros a verde limón con pleocroísmo moderado, bajo relieve, exfoliación paralela perfecta (visible en algunos cristales) y colores de interferencia grises claros de primer orden. Se orienta concordantemente con las dos direcciones de clivaje de la muestra, se distribuye de forma abundante y homogénea (Figura 31). En contacto con agregados de muscovita y cuarzo conformando la matriz de la roca, además, como inclusiones en las venas (Figura 32h) o recristalizada en las sombras de presión de los porfidoblastos de minerales opacos (Figura 32a-d y 32g); en este último caso, con colores de interferencia anómalos en tonos marrones y un tamaño de grano considerablemente mayor.
- **Clorita2:** [10%], conforma una de las familias de venas presentes en la roca (Figura 32e-g) y puede estar asociada a algunas fracturas rellenas por óxidos

(Figura 31a-d). Son agregados concéntricos de individuos alargados tabulares, subidioblásticos a idioblásticos, heteroblásticos e inequigranulares; presentan pleocroísmo de verde amarillento, verde limón a un verde más intenso; pueden notarse oscurecidos debido a su relación con los óxidos, tienen relieve moderado y exhiben colores de interferencia anómalos azul latón a verdes, amarillos, fucsias.

6.9.2.3 Cuarzo. [22%], se presentan dos generaciones.

- **Cuarzo1.** [8%], Individuos incoloros, de tamaño de grano muy fino a ultrafino, subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos e inequigranulares; presentan relieve bajo, algunas inclusiones y tienen birrefringencia baja con colores de interferencia grises a blancos de primer orden. Están en contacto con muscovita y clorita1, conformando la matriz de la roca (Figura 31e-f); puede verse recristalizado en las sombras de presión de algunos porfidoblastos. Se distribuye de forma homogénea en la muestra, aunque es considerablemente menos abundante en relación a los otros componentes de la matriz de la roca.
- **Cuarzo2.** [14%], se presenta conformando las numerosas venas de la familia 1 (**F1**) de la muestra, los cristales son principalmente xenoblásticos, heteroblásticos e inequigranulares, de tamaño de grano muy fino a ultrafino (Figura 32a-b y 32e-h). Al igual que el cuarzo, puede encontrarse recristalizado en las sombras de presión de los porfidoblastos (Figura 32a-d y 32g); es posible que las venas F1 sean una estructura pretectónica o incluso sintectónica.

6.9.2.4 Óxidos. [7%], son ligeramente abundantes, se distribuyen a lo largo de las fracturas de la muestra y planos de debilidad relacionados con el clivaje de la roca, también dentro de algunas venas y en la matriz, en ésta última en forma de agregados de cristales microgranulares.

6.9.2.5 Minerales opacos. [4%], porfidoblastos heteroblásticos, con geometrías variables rómbicas, cúbicas, piramidales a tabulares; se distribuyen de forma

homogénea en la roca, se encuentran en tamaños de grano desde ultrafino a medio; los especímenes con mayores dimensiones presentan sombras de presión. Algunas de estas características son visibles en las Figuras 31e-h, 32a-d y 32g.

6.9.2.6 Epidota. [2%], agregados granulares de individuos subidioblásticos a xenoblásticos, inequigranulares y heteroblásticos; tienen birrefringencia alta y colores de interferencia desde finales del primer orden hasta tercer orden. Se encuentra de forma sectorizada en una de las venas presentes en la muestra, es poco abundante y está estrechamente relacionada con la clorita₂ (Figura 31g-h).

Cuadro 10. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 5-2).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA		
Relictos	Op	Principales (>50%)	No se evidencia.	
Metamorfismo prógrado	Ms, Chl1, Qtz1	Mayores (>5%)	Ms, Chl1, Chl2, Qtz1 y óxidos.	
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia.	Menores (1 y 5%) Ep y Op	
	Procesos posteriores al metamorfismo	Chl2, Ep y óxidos	Accesorios (<1%)	No se evidencia.
			Esenciales	No se evidencia.

6.9.3 Microtexturas. La roca presenta una textura lepidoblástica (Figura 31a-f).

6.9.4 Microestructuras. se observa el desarrollo de dos foliaciones: S_1 y S_2 ; que definen una microestructura de crenulación, ambas foliaciones están conformadas por agregados de muscovita y agregados de clorita con menores cantidades de cuarzo (Figura 31a-f). La roca presenta una estructura claramente metamórfica.

Se presentan dos familias de venas: la familia 1 (**F1**), está conformada por cristales de cuarzo xenoblásticos a subidioblásticos, con tamaños de grano muy fino a ultrafino, se presentan con geometrías más o menos rectas y espesores que varían desde los 550 μ m (0.55mm) hasta los 1200 μ m (1.2mm). Se distribuyen de forma abundante en la muestra siguiendo una misma dirección preferencial, sin embargo, los bordes de estas estructuras no se definen con claridad, observándose gradacionales. Estas venas contienen cristales de clorita y muscovita provenientes de la matriz (Figura 32h). Algunos de sus componentes recrystalizan en las sombras de presión de minerales opacos, esto puede ser un indicador de que las venas son sintectónicas o pre-tectónicas (Figura 32a-d y 32g)

Las venas F1 son atravesadas por venas de Clorita y fracturas con un alto contenido en óxidos (Figura 32) y, en algunos sectores se encuentran desplazadas o deformadas por dichas fracturas.

La segunda familia de venas (**F2**), está conformada por agregados de clorita²; los espesores medidos están entre los 35 μ m y los 51 μ m. Éstas estructuras cortan las venas de cuarzo nombradas anteriormente, produciendo recrystalización en algunos de los minerales que las conforman (Figura 32e-g). Contienen algunos óxidos.

La muestra presenta numerosas fracturas rellenas por óxidos, éstas tienden a seguir los planos de debilidad de la muestra relacionados con las foliaciones y se distribuyen de forma heterogénea. Presentan geometrías rectas a irregulares.

Algunos sectores de la muestra se encuentran evidentemente plegados y/o desplazados, sin embargo, en éste trabajo no se estudian los aspectos relacionados con la cinemática referente a dichas estructuras.

Figura 31. Texturas y estructuras, filita pelítica (PMOG 5-2). (a-d) se observa una microestructura de crenulación, la Ep está asociada a los óxidos y fracturas; (e y f) textura lepidoblástica conformada por agregados de Chl1+Ms+Qtz en menores cantidades. Se muestran, además, algunos Op; (g y h) agregados granulares de Ep bordeando una vena de Chl+Qtz, es la única estructura de éste tipo presente.

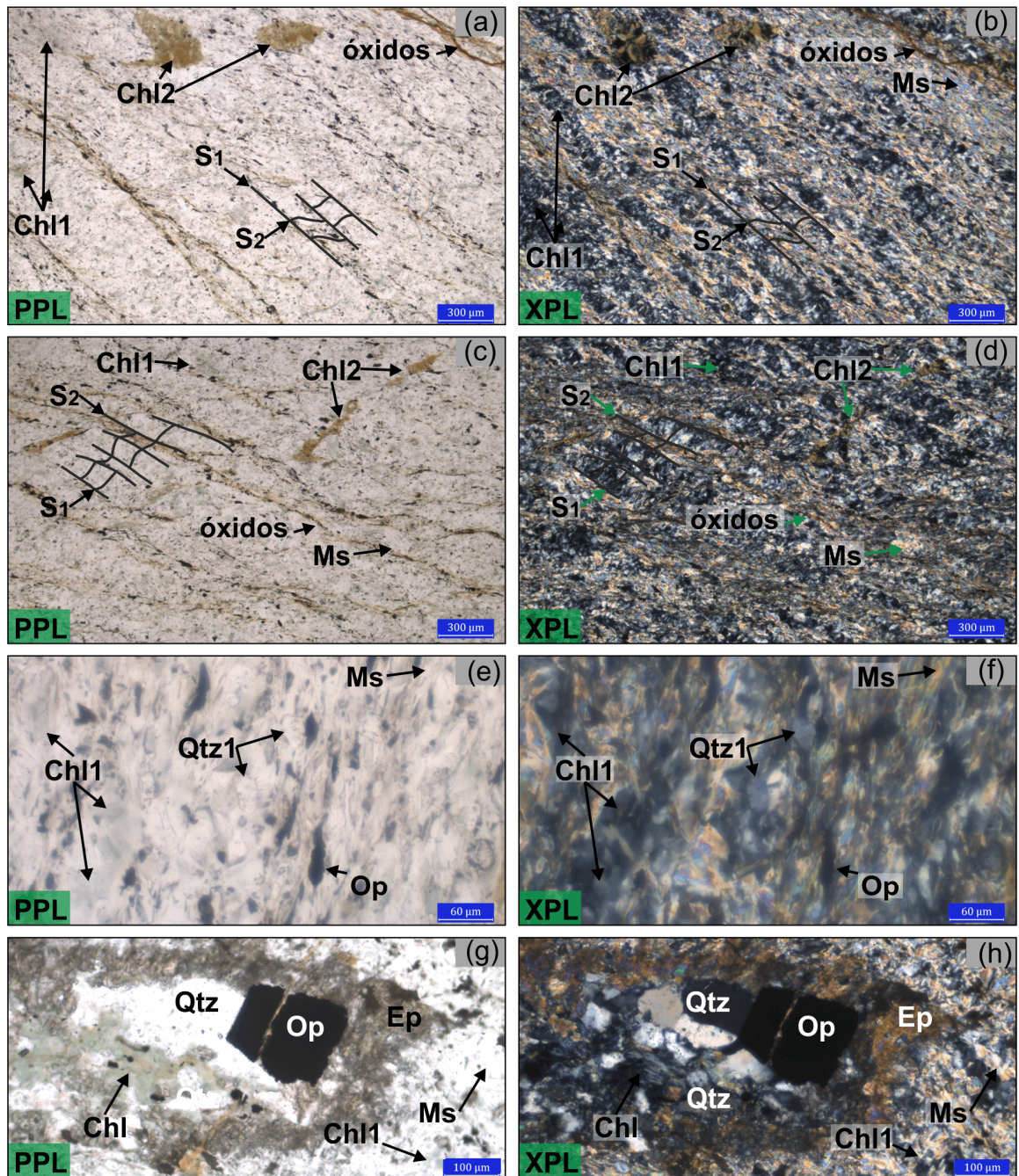
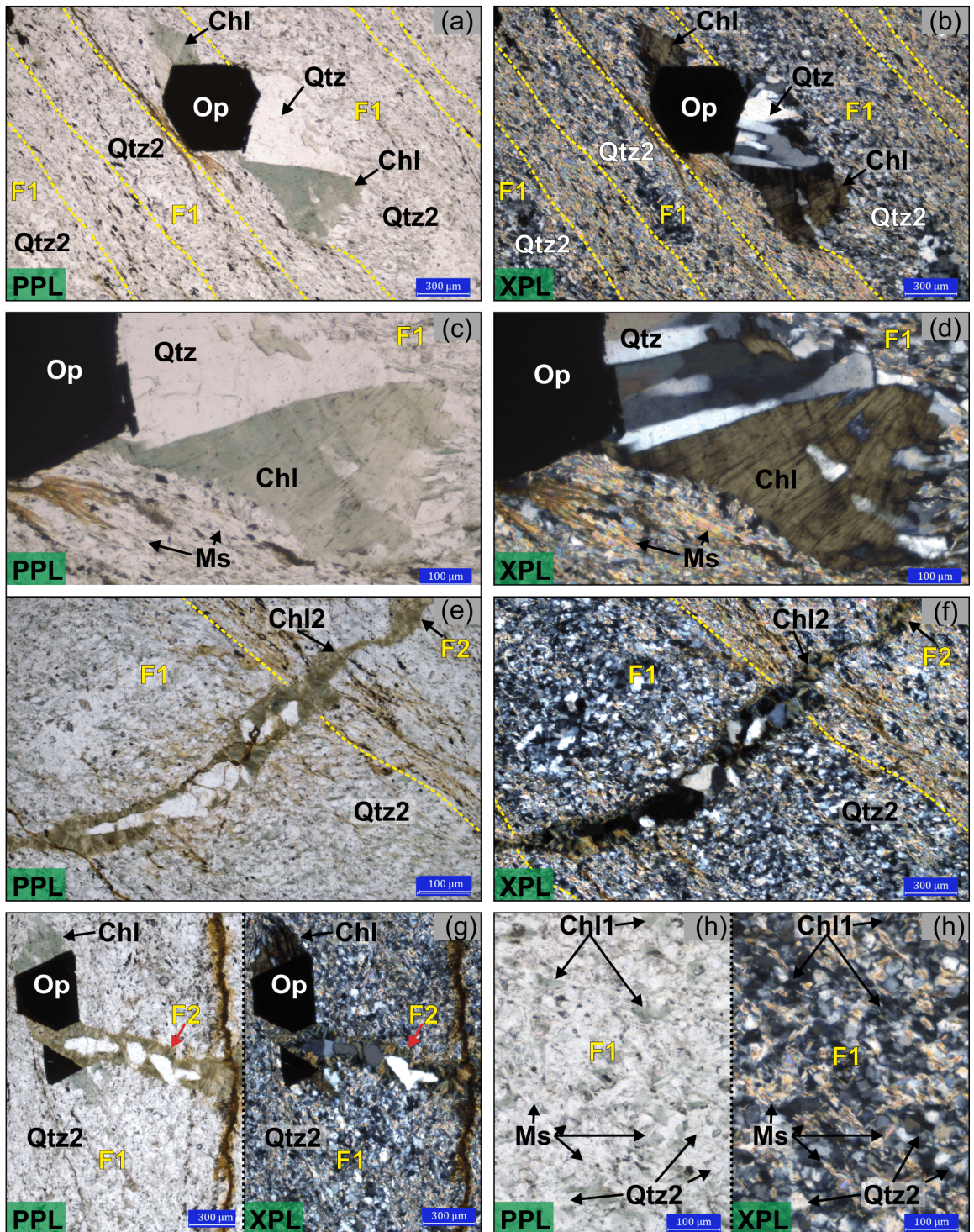


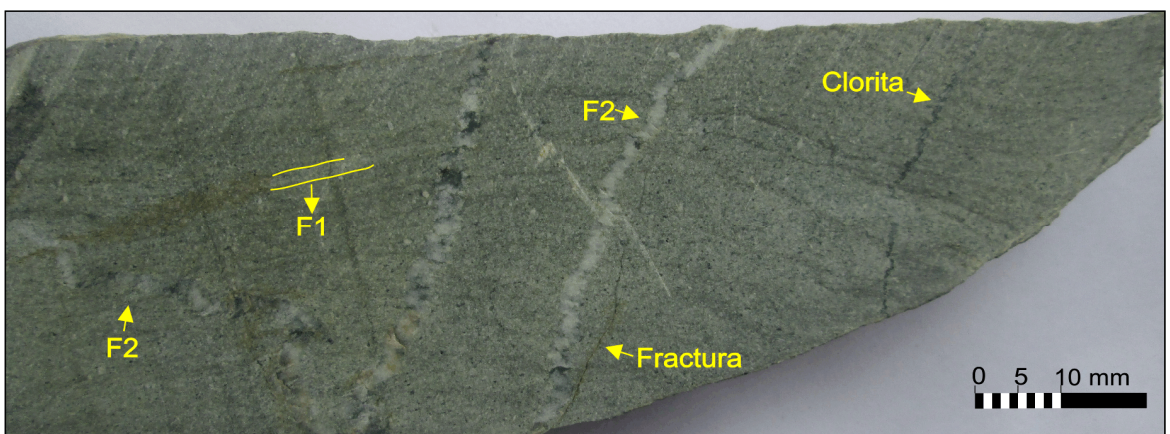
Figura 32. Estructuras, filita pelítica (PMOG 5-2). (a-d) relación entre la matriz, porfidoblastos y venas F1; (e-g) relación venas F1, F2 y Op; (h) aspecto venas F1.



6.10 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 6-1)

6.10.1 Muestra de mano. La muestra es una roca de tonalidades verdosas a grisáceas, en los sectores con mayor grado de meteorización presenta colores ocreos oscuros, verdosos a pardos oscuros; tiene brillo sedoso, alto grado de compactación y bajo grado de meteorización. Exhibe una clara foliación y tiene una gran cantidad de venas con cuarzo subparalelas a dichos planos de clivaje (primera familia de venas: F1); adicionalmente, contiene venas compuestas igualmente por cuarzo, pero orientadas de forma predominantemente oblicua en relación con la foliación y, aunque toman direcciones rectas, siguen geometrías sinuosas (segunda familia de venas: F2). Los espesores medidos para éstas últimas estructuras están entre los 2mm y los 13mm. La roca presenta fracturas menores, en ocasiones rellenas de clorita; otras venas compuestas por clorita, también se hallan presentes. El tamaño de grano de la roca es fino a muy fino y composicionalmente se identificaron los siguientes minerales: cuarzo, muscovita, clorita y magnetita. Ver Figura 33.

Figura 33. Muestra de mano, filita pelítica (PMOG 6-1). Se denotan algunas de las principales estructuras de la muestra.



6.10.2 Composición mineralógica. En ésta sección, son descritas las especies minerales identificadas a través del microscopio petrográfico.

6.10.2.1 Muscovita. [21%], en agregados hojosos, compuestos por individuos subidioblásticos a xenoblásticos, equigranulares y homeoblásticos; en su mayoría exhiben hábito tabular con terminaciones irregulares. Se distribuye de manera uniforme y abundante en la muestra, con un tamaño de grano muy fino a ultrafino; se observa incolora a verdosa, levemente pleocróica, con relieve bajo que cambia sutilmente al girar la platina. Está intercrecida con clorita y se orienta de forma concordante con las dos direcciones de clivaje de la muestra, siendo de hecho, el principal indicador de las mismas. Es uno de los principales componentes de la matriz de la roca, puede hallarse, además, como inclusiones en cristales de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y en algunas venas. Figuras 34 y 35.

6.10.2.2 Clorita. [23%], se presentan dos generaciones.

- **Clorita1.** [18%], agregados concéntricos de individuos tabulares alargados, en su mayoría equigranulares, heteroblásticos y subidioblásticos; de releve bajo, incoloros a verde limón muy claro y con pleocroísmo leve a ausente. Se presentan con un tamaño de grano muy fino a ultrafino. Exhiben colores de interferencia grises a blancos de primer orden, aunque también se observan algunos tonos anómalos violáceos oscuros a cafés. Se encuentran formando gran parte de la matriz de la roca, estrechamente relacionados con la muscovita y se distribuyen de forma homogénea y abundantes. Está orientada siguiendo preferencialmente la dirección de foliación S_n .
- **Clorita2.** [5%], agregados de individuos homeoblásticos, equigranulares, subidioblásticos a xenoblásticos, tabulares y alargados, de color verde amarillento, verde limón a verde, fuertemente pleocróicos y con relieve bajo, algunos amarillentos debido a los óxidos; muestran colores de interferencia anómalos en

tonos azul violáceo, azul Berlín, púrpura, marrón, lilas y dorados. Se distribuye de forma medianamente abundante y heterogénea dentro de la muestra, asociada con las fracturas de la roca y estrechamente relacionada con óxidos y epidota; aunque puede desarrollarse plenamente dentro de las venas de cuarzo junto con cristales de epidota, sin embargo, su relación genética con las fracturas es evidente.

6.10.2.3 Cuarzo. [21%], se presentan tres generaciones.

- **Cuarzo1.** [4%], se encuentran conformando parte de la matriz de la roca, son individuos incoloros, xenoblásticos, inequigranulares con tamaños de grano fino a muy fino; se distribuyen de forma heterogénea y escasa dentro de la muestra, están asociados a clorita1 y muscovita.
- **Cuarzo2.** [16%], cristales subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos, notoriamente inequigranulares, incoloros, de relieve bajo, con tamaño de grano ultrafino (predominante) a fino; presentan contactos lobulados y se muestran orientados concordantemente con la foliación S_n . Conforman un tipo de venas y están relacionados con los cristales de feldespato potásico y plagioclasa presentes en dicha estructura (Figuras 34 y 35).
- **Cuarzo3.** [11%], presente dentro de las venas de la familia 2, son individuos subidioblásticos, heteroblásticos y notoriamente inequigranulares, se muestran elongados (en su mayoría) y contienen microinclusiones; muchos de los cristales presentan extinción ondulante, contactos lobulados y lamelas de deformación. Éstas venas son cortadas por fracturas que contienen óxidos, clorita2 y epidota. Tienen a orientarse de forma concordante con la foliación S_n (Figura 36).

6.10.2.4 Plagioclasa. [7%], individuos subidioblásticos de hábito tabular, elongados, heteroblásticos, inequigranulares, con tamaños de grano fino a muy fino, incoloros, relieve bajo y con algunas inclusiones que suelen estar conformadas por muscovita y que aparentan concordar con las direcciones principales de clivaje de la muestra. Exhiben macla polisintética con características que pueden asociarse a

una plagioclasa Sódica. Tiende a estar orientada según S_n , se distribuye de forma medianamente escasa y heterogénea en la muestra y, su origen está ligado a las numerosas venas presentes. Algunos agregados de clorita podrían formar sombras de presión alrededor de algunos de los cristales de Plagioclasa, sin embargo, éstas estructuras están levemente desarrolladas, son escasas y sectorizadas, por lo cual no se pudieron definir con claridad. Ver Figuras 34g-h y 35a-c.

6.10.2.5 Minerales opacos. [5%], porfidoblastos heteroblásticos, inequigranulares, en su mayoría idioblásticos, con geometrías variables: cuadradas, rómbicas y rectangulares; aunque también se observan xenoblásticos. Se distribuyen de forma heterogénea y medianamente abundante, no presentan sombras de presión ni inclusiones y se encuentran en tamaños de grano desde ultrafino a fino.

6.10.2.6 Óxidos. [5%], se distribuyen de forma extensa en la muestra a través de los diferentes planos de debilidad presentes, pueden encontrarse, además, como agregados de cristales microgranulares en la matriz de la roca.

6.10.2.7 Epidota. [4%], agregados granulares, de individuos subidioblásticos a xenoblásticos, homeoblásticos (en su mayoría), equigranulares de color amarillo verdoso a incoloro; no es posible observar la foliación, presenta relieve alto a moderado, exhibe colores de interferencia amarillos, naranjas, fucsias, azules y verdes de finales de primer orden hasta tercer orden. Está relacionado a clorita² y óxidos. Es posible que también se encuentre como alteración de feldespatos potásicos junto con clorita (Figuras 35d-e y 36e-f).

6.10.2.8 Feldespato potásico. [4%], ortoclasa: cristales subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos e inequigranulares, de relieve bajo, incoloros, con numerosas microinclusiones y exfoliación imperfecta en una dirección; exhibe colores de interferencia grises de primer orden, presenta un aspecto nubado y ausencia de maclas. Algunos forman micropertitas y en ocasiones se observan

crisales de clorita y epidota creciendo en los bordes de los crisales. Algunos crisales podrían estar orientados según S_n . Formando parte de una familia abundante de venas con geometrías variables que tienden a dispersarse y difuminarse en la matriz de la roca.

Cuadro 11. Clasificación genética y cuantitativa de los minerales de la filita pelítica (PMOG 6-1).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA		CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA		
Relictos		No se evidencia.	Principales (>50%)	No se evidencia.
Metamorfismo prógrado		Ms, Chl1, Qtz1, Op,	Mayores (>5%)	Ms, Chl1, Qtz2, Qtz3 y Pl.
Secundarios	Metamorfismo regresivo	No se evidencia	Menores (1 y 5%)	Chl2, Qtz1, Op, Óxidos, Ep y Kfs.
	Procesos posteriores al metamorfismo	Óxidos, Ep, Chl2, Qtz2, Qtz3, Pl y Kfs	Accesorios (<1%)	No se evidencia.
			Esenciales	No se evidencia.

En la clasificación genética de ésta muestra (Cuadro 11) los componentes de las dos familias de venas presentes, a saber: cuarzo2, plagioclasa y feldespato potásico en las venas F1 y, cuarzo3 (más una posible una nueva generación de feldespato potásico) en las venas F2; son puestos como *procesos posteriores al metamorfismo*, sin embargo, hay algunas características que indican la posibilidad de que éstas estructuras sean sintectónicas (o incluso pre-tectónicas) al evento de deformación que creó la foliación S_n . El principal indicador de ésta conjetura, es el hecho de que los minerales de las venas se encuentran orientados de forma concordante con la foliación S_n , aunque no se determinó una concordancia clara con la foliación S_{n+1}

6.10.3 Microtexturas. La muestra exhibe una textura Lepidoblástica, localmente porfidoblástica en matriz lepidoblástica levemente desarrollada; en los sectores donde los componentes de las venas se esparcen ampliamente en la matriz, se presenta una textura granolepidoblástica a porfidoblástica en matriz lepidoblástica.

6.10.4. Microestructuras. Se observan dos direcciones de foliación, a saber: S_n y S_{n+1} ; se evidencia una microestructura de crenulación (Figura 34e-h).

Se identificaron 2 familias de venas. La primera (F1), está conformada por cristales de cuarzo², feldespato potásico y plagioclasa; sus miembros exhiben geometrías irregulares con bordes o límites poco definidos y espesores variables; algunos de los componentes tienden a esparcirse de forma difuminada a irregular en algunos sectores de la muestra, en ocasiones simulando ser parte de la matriz de la roca. Estas venas son abundantes y se distribuyen de forma concordante con la foliación S_n . Los miembros de segunda familia de venas (F2), están compuestos principalmente por cristales de cuarzo³ con menores cantidades de plagioclasa, se distribuyen de forma oblicua a las direcciones de foliación de la roca y tienen una geometría fuertemente sinuosa; en su mayoría, los cristales se orientan de forma concordante con la foliación S_n , siendo más evidente en algunos sectores que en otros; el tamaño de grano tiende a ser homogéneo en toda la estructura y, el cuarzo muestra extinción ondulante y lamelas de deformación. Algunos de los cristales de feldespato potásico y plagioclasa presentes en ésta estructura parecen estar relacionados con las venas de la familia 1. Las F2 cortan a las F1, indicando que son más jóvenes que éstas últimas.

Se observaron numerosas fracturas, éstas tienden a seguir los planos de foliación, aunque también pueden cortarlos de forma oblicua; algunas siguen los bordes de las venas, cortan y/o desplazan las mismas. Están rellenas por agregados de clorita², epidota y óxidos; se distribuyen de forma medianamente abundante.

Figura 34. Textura y estructuras, filita pelítica (PMOG 6-1). (a y b) Textura lepidoblástica y fractura con óxidos y Chl2; (c y d) Chl1 y Ms son los principales componentes de la matriz de la roca, el Kfs y el Qtz visible son parte de F1; (e, f, g y h) microcrenulación, se forma una textura porfidoblástica en matriz lepidoblástica debido a la presencia de cristales ligados genéticamente a las venas F1.

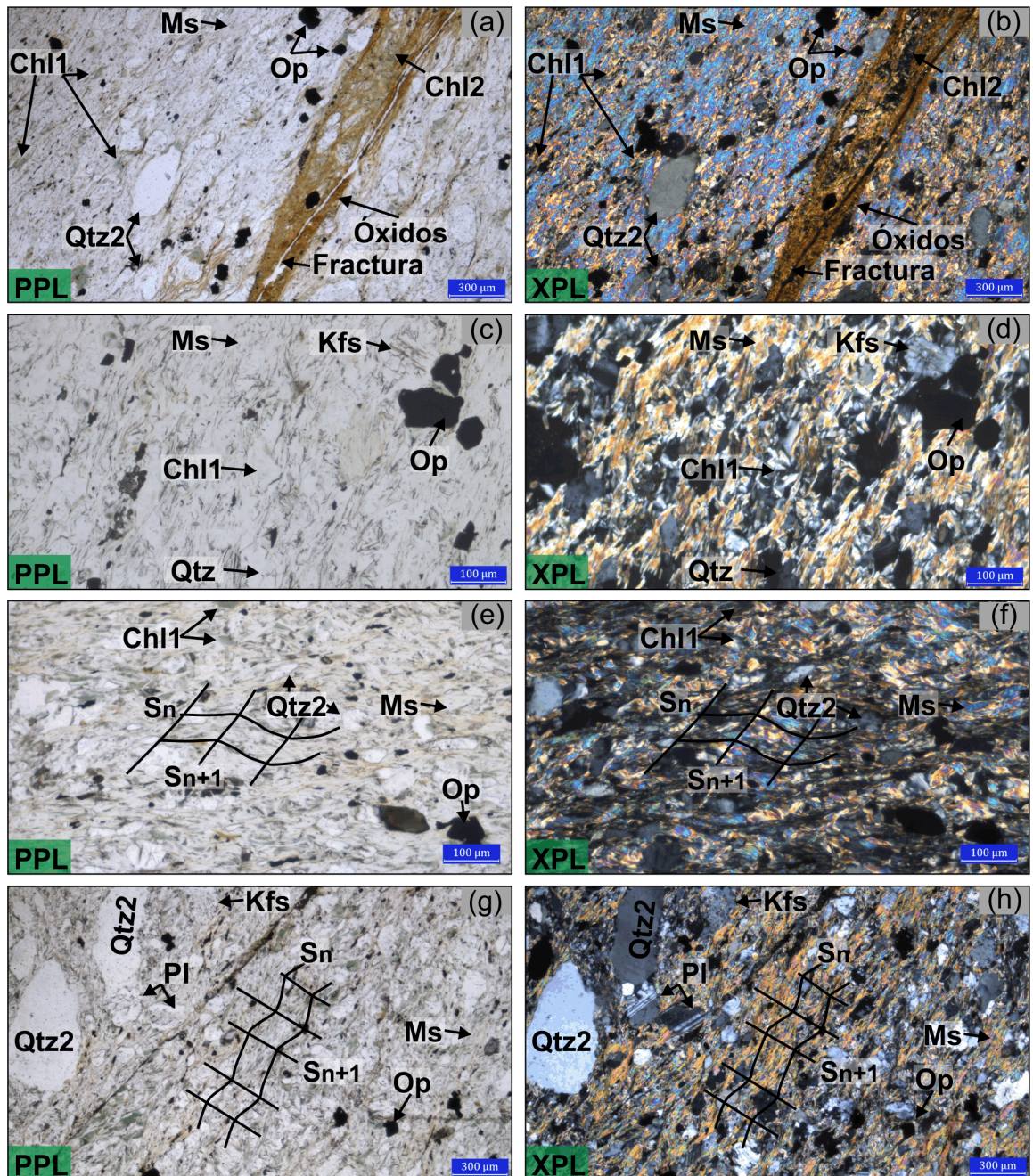


Figura 35. Venas de la familia 1, filita pelítica (PMOG 6-1). (a y b) las venas F1 (PI+Qtz2+Fks) tienden a seguir los planos Sn y no presentan bordes definidos, por lo que muchos de sus componentes están esparcidos en la matriz; (c) cristales de PI, presentan numerosas inclusiones, algunas de ellas parecen concordar con las foliaciones de la muestra; (d y e) micropertita en un cristal de Kfs, además, se observa Chl2 y Ep creciendo en los bordes del cristal.

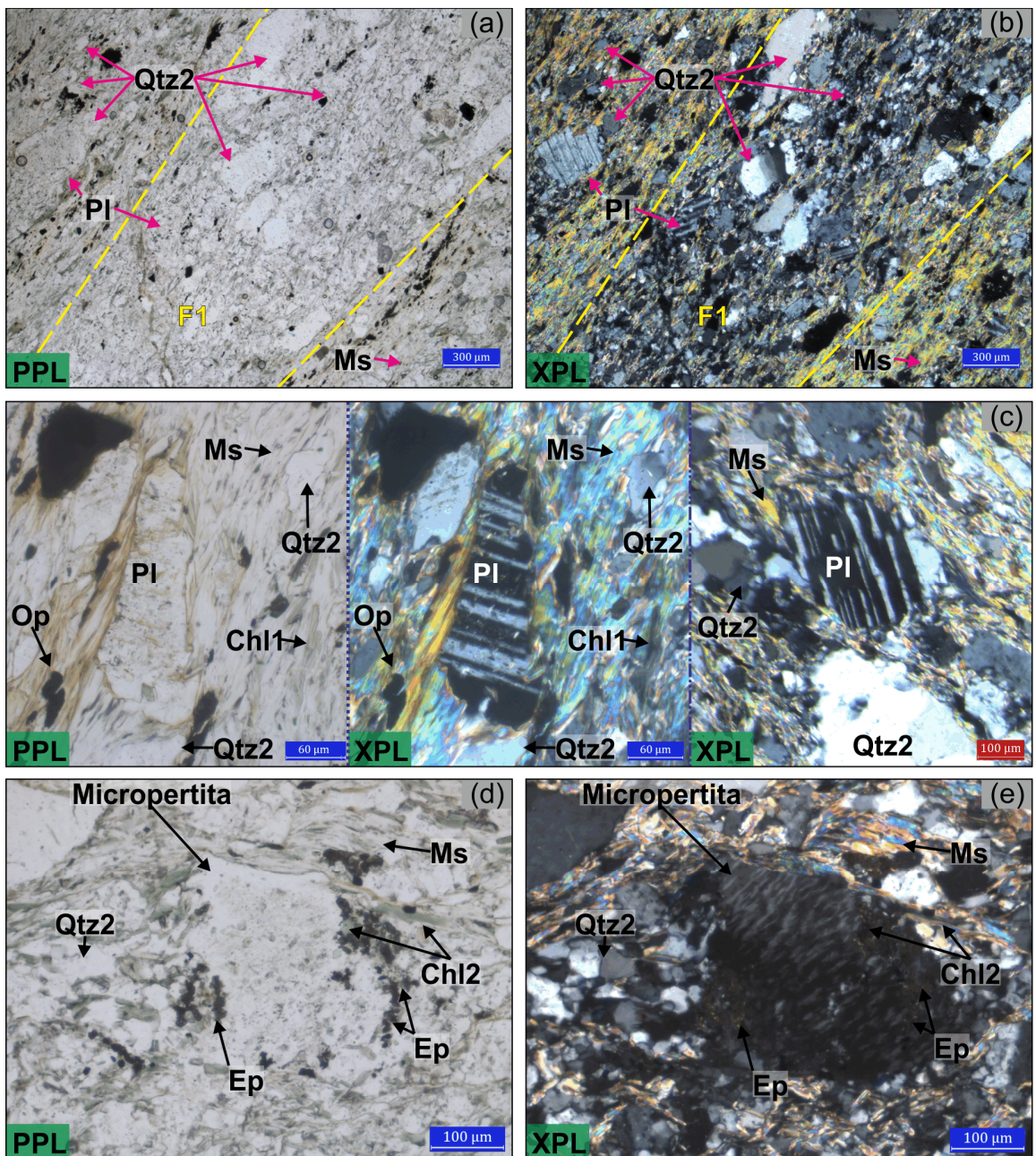
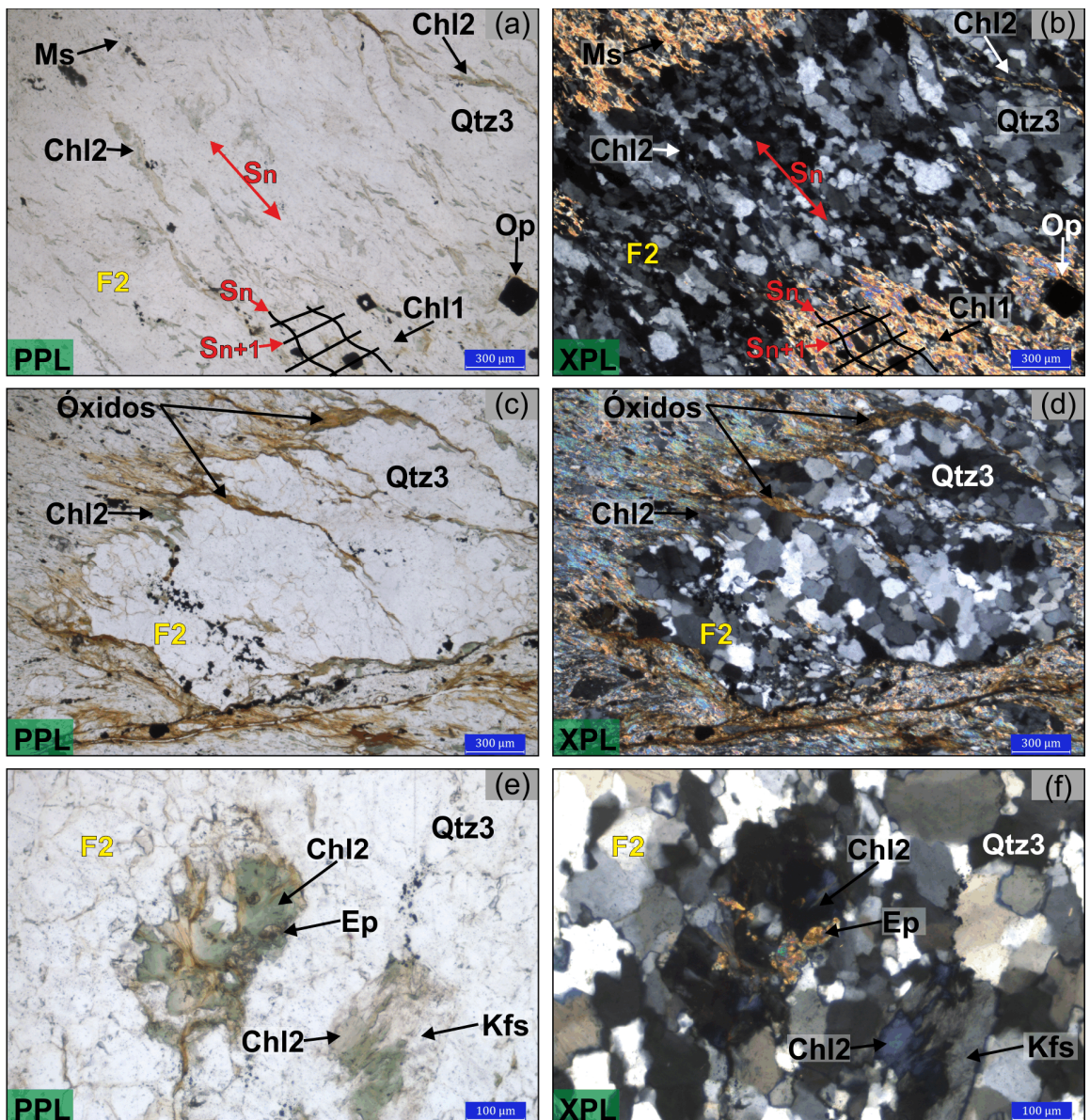


Figura 36. Venas de la familia 2, filita pelítica (PMOG 6-1). (a y b) los cristales están orientados concordantemente con la foliación S_n y en menor medida con S_{n+1} ; (c y d) las venas F2 están afectadas por numerosas fracturas que contienen principalmente óxido y Chl2, nuevamente se observa la relación con las foliaciones; (e y f) algunos de los cristales de Chl asociados a las fracturas parecen estar alterando cristales de Kfs junto con Ep.



6.11 FILITA PELÍTICA (MUESTRA PMOG 6-3)

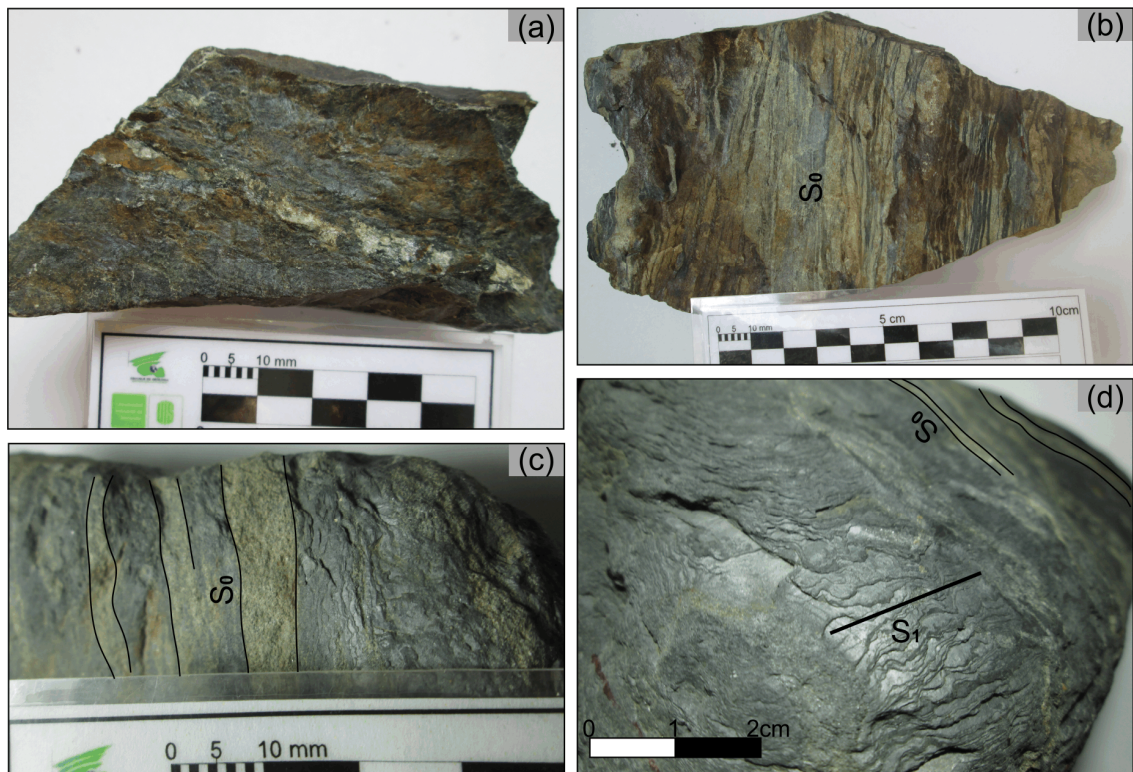
6.11.1 Muestra de mano. En muestra fresca presenta un color oscuro grisáceo, ligeramente verdoso (Figura 37a); en los sectores meteorizados los tonos verdes se incrementan. Tiene brillo sedoso, es bastante compacta y presenta una foliación bien desarrollada. Se observa una vena compuesta de cuarzo que sigue los planos de foliación, con un espesor hasta de 11 mm. La roca presenta tamaño de grano muy fino. Está compuesta principalmente por muscovita y clorita, también presenta una pequeña cantidad de cristales de magnetita. (Ésta muestra no cuenta con lámina delgada).

6.12 PIZARRA (MUESTRA PMOG 7-1)

6.12.1 Muestra de mano. Las características que presenta ésta muestra permiten inferir que fue afectada por al menos un evento de deformación dinamotérmico, aunque éste tuvo un efecto reducido, de manera que la mayoría de los rasgos de la roca original, que en éste caso es indiscutiblemente sedimentaria, se mantienen. Con base en criterios sedimentarios, la roca está conformada por láminas de color gris claro con tamaño de grano arena muy fina a fina, compuestas principalmente por cuarzo con menores cantidades de muscovita, muy bien calibradas, con armazón granosoportado, matriz lodosa, cemento silíceo y porosidad secundaria de tipo intrapartícula debido a la lixiviación de algunos cristales (<2%); éstas se encuentran intercaladas con láminas de Lodolita shale de color negro con muscovita. El espesor de las láminas es variable y va desde muy finas (0,1 a 0,3

cm) a medias (de 1 a 3cm) según la terminología de Campbell⁵⁹, éstas son ligeramente onduladas y tienden a ser paralelas entre sí y continuas, aunque también se presentan discontinuas y lenticulares; la roca se muestra bastante compacta y poco afectada por meteorización. De forma oblicua a los planos de estratificación (S_0) se presentan planos de pizarrosidad (S_1 o S_n), evidentes de forma clara en los niveles lodosos (Figura 37c-d). Ésta muestra no cuenta con SD o SDP.

Figura 37. Principales características en muestra de mano de las muestras: filita pelítica (PMOG 6-3) y pizarra (PMOG 7-1). (a) aspecto general, filita pelítica; (b-d) pizarra, los planos S_0 (planos relictos de la estratificación del protolito) y los planos S_1 (asociados a un episodio de deformación dinamotérmico), éstos son parcialmente delimitados por líneas negras en las fotografías.



⁵⁹ CAMPBELL, 1967. Citado en: CRUZ, Luis y CABALLERO, Víctor. Laboratorio No 6, Descripción y clasificación de estructuras sedimentarias [14-05-2007]. En: Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos [Impreso]. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología. (s.p.).

7. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Algunas de las muestras tratadas en éste estudio son rocas con tamaños de grano ultrafino, muy fino o fino y, con una composición principalmente pelítica, de modo que la identificación a través del microscopio petrográfico de una parte importante del total de sus componentes minerales se hace inviable por cuestiones de escala. Por otro lado, no se realizó SD o SDP de la arcillolita shale fosilífera (PMOG 3-4) y de la lodolita arenosa (PMOG 4-1) debido a la facilidad con la que se disgregan. Adicionalmente, la presencia de minerales arcillosos como la illita, montmorillonita y otros minerales como: prehnita, estilpnomelana, lawsonita y pumpellita; presentan una particular utilidad en la determinación del grado de metamorfismo en rocas de facies sub-esquistos verdes a esquistos verdes (grado muy bajo a bajo), pero es generalmente no son reconocidos usando únicamente la petrografía.

Teniendo en cuenta las especificaciones anteriores, se realiza un análisis cualitativo de facies minerales a través de difracción de rayos X (DRX), siendo ésta una herramienta útil bien sea para conocer o para profundizar en el contenido mineral de las muestras tratadas. En el Anexo A, se muestra el compendio de la composición mineralógica obtenida para cada muestra por medio de la petrografía y/o mediante el análisis cualitativo por DRX. En el Anexo B, se encuentra el informe completo del laboratorio, el cual incluye la metodología utilizada en este análisis. Un resumen de los resultados se presenta a continuación en el *Cuadro 12*.

Cuadro 12. Resultados del análisis cualitativo de facies por difracción de rayos X. (a) resultados y (b) convenciones.

(a)

LITOTIPO	MUESTRA	Qtz	Ms*	Ms**	Clc*	Clc**	Ab	Cal	Mnt	Rt	Sep	Sd	Crs
Filita pelítica	PMOG 5-1	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓
	PMOG 6-1	✓	—	✓	—	✓	✓	—	—	—	—	—	—
Metalodolita	PMOG 3-1	✓	—	✓	—	✓	✓	—	—	—	—	—	—
Arcillolita Shale	PMOG 3-4	✓	—	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—
Lodolita arenosa	PMOG 4-1	✓	✓	—	✓	—	✓	✓	—	✓	—	✓	—

(b)

ABREVIATURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA						
Qtz	Cuarzo	SiO ₂		Crs	Cristobalita	SiO ₂
Ms*	Muscovita	K Al ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂		Ms**	Muscovita	K Al ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (O H) ₂
Clc*	Clinocloro	(Mg _{2.96} Fe _{1.55} Fe _{.136} Al _{1.275}) (Si _{2.622} Al _{1.376} O ₁₀) (O H) ₈		Clc**	Clinocloro	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
Ab	Albita	Na (Al Si ₃ O ₈)		Cal	Calcita	Ca (CO ₃)
Mnt	Montmorillonita	Ca _{0.2} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ! ₄ H ₂ O		Rt	Rutilo	TiO ₂
Sep	Sepiolita	Mg ₄ Si ₆ O ₁₅ (OH) ₂ ! ₆ H ₂ O		Sd	Siderita	Ca _{0.1} Mg _{0.33} Fe _{0.57} (CO ₃)

Los datos obtenidos revelan que la variedad de clorita presente en todas las muestras analizadas corresponde a clinocloro; la epidota, óxidos y minerales opacos identificados a través de la petrografía no son reportados por la DRX.

Los resultados de la composición para las filitas pelíticas y para la metalodolita concuerdan con lo observado en las láminas delgadas; el contenido de albita parece estar relacionado en su totalidad con algunas de las venas presentes en las muestras.

Como se indicó anteriormente, no fue posible realizar láminas delgadas a partir de las muestras: arcillolita shale (PMOG 3-4) y lodolita arenosa (PMOG 4-1). La DRX señala que éstas se componen de aluminosilicatos, hidroxisilicatos y carbonatos. La presencia de Montmorillonita en la arcillolita shale es de cierta manera un indicador de procesos que pueden asociarse a un grado muy bajo de metamorfismo, estudios posteriores podrían utilizar técnicas de análisis instrumentales específicas para determinar las condiciones de temperatura en esta muestra identificado, por ejemplo, la relación entre las láminas de Montmorillonita, clinocloro, sepiolita y muscovita.

8. METAMORFISMO

En este proyecto se tienen en cuenta los conceptos de diagénesis y metamorfismo estandarizados por la IUGS⁶⁰, éstos son transcritos en seguida con la finalidad de informar al lector que requiera de una mejor contextualización.

El metamorfismo es: *un proceso que involucra cambios en el contenido/composición mineral y/o microestructura de la roca, predominantemente en estado sólido. Éste proceso se debe principalmente a un ajuste de la roca a condiciones físicas que difieren de aquellas bajo las cuales la roca se formó originalmente y que también difieren de las condiciones físicas que normalmente ocurren en la superficie de la tierra y en la zona de la diagénesis...*⁶¹ [Traducido de Inglés].

Diagénesis (*sensu lato*): *Todos los cambios químicos, mineralógicos, físicos y biológicos sufridos por un sedimento después de su depositación inicial, y durante y después de su litificación, excluyendo la alteración superficial (meteorización) y el metamorfismo.* Los cambios implicados en la diagénesis son el resultado de procesos tales como compactación, cementación, retrabajamiento, autigénesis, reemplazamiento, cristalización, lixiviación, hidratación, deshidratación, acción bacteriana y formación de concreciones. Estos procesos ocurren bajo condiciones de presión y temperatura que son normales en la superficie de la tierra y en la parte externa de la corteza terrestre⁶² [Traducido de Inglés].

El metamorfismo de ***muy bajo grado*** es considerado como la transición progresiva entre los campos definidos anteriormente. Adicionalmente, la diagénesis (*sensu lato*) puede ser subdividida en:

Diagénesis somera [o temprana] (diagénesis *sensu stricto*): Los cambios químicos, mineralógicos, físicos y biológicos que tienen lugar en un sedimento bajo condiciones físicas que no difieren significativamente de aquellas en las que se originó el sedimento. Se caracteriza por la ausencia de alteración de minerales detríticos⁶³ [Traducido de Inglés].

Diagénesis profunda [o tardía]: Cambios que se caracterizan por reacciones de minerales arcillosos (como la transformación de esmectita a illita, caolinita a dickita, etc., y el incremento en la proporción de láminas de illita en las minerales arcillosos interestratificados)⁶⁴ [Traducido de Inglés].

⁶⁰ ÁRKAI, Péter; SASSI, Francesco & DESMONS, Jacqueline, p. 2, Op Cit.

⁶¹ *Ibíd.*, p. 2.

⁶² *Ibíd.*, p. 2.

⁶³ *Ibíd.*, p. 2.

⁶⁴ *Ibíd.*, p. 2.

Las litologías recolectadas en inmediaciones de Mogotes y San Joaquín durante la realización de este proyecto, presentan diversas características en cuanto a procesos de deformación; en un área relativamente pequeña, se encuentran rocas que exhiben desde rasgos claramente sedimentarios en muestra de mano hasta litologías evidentemente metamórficas. El carácter local o regional del metamorfismo no se determinó con claridad. La zona presenta una alta actividad tectónica, evidenciada a escala macroscópica en la presencia de diaclasamiento, plegamientos abiertos leves y zonas de derrumbes o inestabilidad; en sección delgada hay presencia de microfracturas, microplegamientos, microdesplazamientos y deformación frágil o dúctil de forma local en algunos cristales minerales; aun así, no se encontraron características determinantes que indicaran la necesidad de clasificar algunas muestras bajo una terminología de rocas de falla, aunque no se descarta la influencia de un metamorfismo de carácter dinámico. No se evidenció metamorfismo retrógrado.

Del total de muestras adquiridas, 9 de ellas son agrupadas con base en su tipo composicional para la descripción de sus posibles condiciones de metamorfismo, así: pelítico, cuarzofeldespático y carbonatado; las 3 muestras restantes, cuyas microestructuras, microtexturas, etc., no son conocidas debido a que no cuentan con una lámina delgada, son tratadas en este apartado de forma individual (ver Cuadro 13). El metamorfismo de grado muy bajo a bajo, especialmente en tipos composicionales como los acá presentes, es difícil de precisar a través de la petrografía (a diferencia de los sucesivos grados de mayor P-T), esto debido a que no existe un límite estricto entre el metamorfismo y la diagénesis (*sensu lato*) sino unos cambios progresivos que dependen de la composición de la roca y que tienden a ser determinables con relativa regularidad *sólo a través de técnicas de análisis específicas* por cuestiones de escala; sin embargo, algunos datos obtenidos durante éste trabajo sobre: las estructuras, microestructuras y asociaciones minerales de las muestras; pueden ser usados para identificar de forma preliminar su grado de metamorfismo. En el Cuadro 15, al final de esta sección, se presenta un resumen.

Cuadro 13. Agrupación de las muestras para efectos de la descripción del grado de metamorfismo.

Pelítico	Cuarzofeldespático	Carbonatado	Otras muestras
Filita pelítica (PMOG 1-1)	Filita cuarzosa	Roca	Arcillolita shale
Metalodolita (PMOG 3-1)	(PMOG 2-1)	metacarbonatada:	fossilífera
Filita pelítica (PMOG 5-1)	Metacuarzoarenita	silíceo-carbonatada	(PMOG 3-4)
Filita pelítica (PMOG 5-2)	(PMOG 3-3)	(PMOG 3-2)	Lodolita arenosa
Filita pelítica (PMOG 6-1)			(PMOG 4-1)
Filita pelítica (PMOG 6-3)			Pizarra (PMOG 7-1)

8.1 ROCAS DE TIPO COMPOSICIONAL PELÍTICO

A pesar de que la petrografía no es un método eficaz para la determinación del grado de metamorfismo en metasedimentitas pelíticas de bajo a muy bajo grado, dentro de los datos obtenidos hay rasgos que permiten dar un resultado preliminar acerca de éste a partir de las características de la microfábrica, la mineralogía y las asociaciones o paragénesis minerales.

8.1.1 Filitas pelíticas. En esta sección se incluyen las muestras de nomenclatura: PMOG 1-1, PMOG 5-1, PMOG 5-2, PMOG 6-1 y PMOG 6-3. Como se indica resumidamente en el cuadro 14 (realizado con base en la información expuesta a detalle en la sección 6 del presente trabajo), estas muestras no presentan indicadores de una foliación relictas (es decir, asociada al protolito de la roca), en su lugar se presentan dos direcciones de foliación metamórfica claramente desarrolladas, exhibiendo una microestructura de crenulación; se observó una asociación mineral o paragénesis(?): Qtz + Ms + Chl/Clc. Estas características apuntan a un grado bajo de metamorfismo, en caso de que se tratase de un evento regional, se podría hablar en términos de facies esquistos verdes, subfacies clorita.

Cuadro 14. Compendio de algunas características de las rocas estudiada de tipo composicional pelítico.

CARACTERÍSTICAS	Filita pelítica PMOG 1-1	Metalodolita PMOG 3-1	Filita pelítica PMOG 5-1	Filita pelítica PMOG 5-2	Filita pelítica PMOG 6-1	Filita pelítica PMOG 6-3	
FOLIACIÓN	Relicta	-	S ₀	-	-	-	
	Singenética	S ₁ y S ₂	S ₁	S ₁ y S ₂	S ₁ y S ₂	S _n y S _{n+1}	
	Crenulación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
	Morfología	Clivaje continuo	Clivaje continuo	Clivaje continuo, localmente se desarrolla en mayor o menor grado. Minerales Op tienden a agruparse en bandas paralelas concordantes con S ₂ .	Clivaje continuo, sin embargo, alrededor de algunos Op hay sombras de presión en las que recristaliza material tanto de la matriz como de las venas.	Clivaje continuo	En muestra de mano exhibe características similares a las rocas pelíticas de nomenclatura PMOG 5-1 y PMOG 5-2. Presenta buena foliación, brillo sedoso y tonalidades verdosas en muestra fresca.
	Definida por la orientación preferencial de:	minerales hojosos (Ms+Chl/Clc) y bordes de grano (Qtz) (Para ambas foliaciones)				En S _n y S _{n+1} : minerales hojosos (Ms+Chl/Clc) y bordes de grano (Qtz). Además, en S _n : bordes de grano de los componentes de las venas.	
TAMAÑO GRANO	Muy fino a ultrafino	Ultrafino a muy fino	Muy fino a fino	Muy fino a fino	Fino a ultrafino	Muy fino	
ASOCIACIONES MINERALES	Qtz+Ms+Chl/Clc	Qtz+Ms+Chl/Clc	Qtz+Ms+Chl/Clc			Sin definir	
Características comunes en todas las muestras→ brillo sedoso; microfracturas rellenas por óxidos que tienden a seguir los planos de debilidad relacionados a las foliaciones; microdesplazamientos; cuando se presentan inclusiones, éstas no evidencian relaciones genéticas claras entre los porfidoblastos y la matriz; textura lepidoblástica, aquellas muestras cuyas venas parecen haber sido afectadas por un evento de deformación dinamotérmico (PMOG 1-1, PMOG 5-1, PMOG 5-2 y PMOG 6-1) presentan además, texturas lepidogranoblásticas y porfidoblásticas en matriz lepidoblástica.							

Las filitas pelíticas presentan una o más familias de venas, algunas de estas estructuras son probablemente pretectónicas a sintectónicas, lo cual parece evidenciarse por la orientación que sus componentes minerales presentan de forma concordante bien sea con sólo una de las foliaciones de la roca o con ambas. Los granos de cuarzo y feldespato de estas venas tienden a mostrarse ligeramente alargados y deformados, en ocasiones con extinción ondulosa y bordes de grano difusos a lobulados.

Por otro lado, aunque de la filita pelítica de nomenclatura PMOG 6-1 no se obtuvieron datos significativos, las características en muestra de mano presentan una notoria similitud con las demás filitas pelíticas.

8.1.2 Metalodolita (PMOG 3-1). Los componentes de esta muestra se disponen de forma concordante con las 2 direcciones de orientación preferencial presentes en la roca: la primera (S_0) tiene un origen diagenético y se relaciona con la estratificación del protolito y, la segunda (S_1), es de origen metamórfico. El hecho de conservar claramente una estructura sedimentaria relictas, indica que la roca no ha estado expuesta a condiciones de deformación tan fuertes como para eliminar dicha característica. El tamaño de grano es predominantemente más fino que en las demás rocas pelíticas tratadas en la sección inmediatamente anterior, la roca presenta un clivaje continuo y fino y, está compuesta principalmente por Cuarzo, Muscovita y Clorita/Clinocloro (cuadro 14). Aunque en la escala trabajada no se evidenciaron minerales indicadores, todas éstas características señalan un ***metamorfismo de grado muy bajo***.

8.2 ROCAS DE TIPO COMPOSICIONAL CUARZOFELDESPÁTICO

8.2.1 Filita cuarzosa (PMOG 2-1). Los principales componentes de ésta roca son: Qtz (40%), Ms (20%), Pl (5%) y Chl1 (10%). Los minerales hojosos exhiben una marcada orientación preferencial y, aunque en algunos sectores parece evidenciarse la existencia de una segunda foliación metamórfica, esto no fue determinado con certeza. El cuarzo se presenta heteroblástico, xenoblástico a subidioblástico; es evidente la diferencia de tamaño entre los cristales, aunque éstos no muestran señales de fracturamiento ni bordes angulares; por otro lado, se observan cristales con extinción ondulante, bordes que tienen a ser irregulares, difusos y bordes lobulados, indicando la presencia de un bajo grado de deformación plástica y recristalización. Algunos cristales de cuarzo tienen geometrías ligeramente alargadas que se muestran concordantes con la foliación observada. No se visualizaron sombras de presión y, en su mayoría, las abundantes fracturas rellenas por óxidos concuerdan con la foliación de la roca. Las principales asociaciones minerales determinadas son: **Qz + Ms + Chl/Clc** y **Pl + Ms + Chl/Clc**. Es difícil determinar con certeza su grado de metamorfismo a partir de los datos obtenidos, sin embargo, las características observadas apuntan a un **metamorfismo de grado bajo**. En caso de corresponder a un evento regional, es probable indicar condiciones de facies esquistos verdes, subfacies: clorita.⁶⁵

8.2.2 Metacuarzoarenita (PMOG 3-3). Su componente principal es el cuarzo (60%), otros minerales importantes son Ms (4%), Chl1 (24%), Op (4%) y Ep (1%). El cuarzo se presenta inequigranular, heteroblástico, subidioblástico a xenoblástico; al igual que en la muestra anterior hay una notoria diferencia en el tamaño de los granos y los cristales no se muestran fracturados o angulares. La mayoría de los cristales de

⁶⁵ GARCÍA RAMÍREZ, Carlos A. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica..., Op Cit. p. 50. [con base a: *Tabla 4. Facies del metamorfismo regional*].

cuarzo exhiben una extinción ondulante del tipo *sweeping* y *patchy* y, contactos lobulados, indicando deformación plástica, además, se presentan ligeramente orientados y pueden verse levemente elongados. La muscovita es escasa y tiene una fuerte orientación; la clorita es más abundante, pero se presenta en agregados concéntricos que no evidencian una marcada dirección preferencial de orientación, se muestra recrystalizado en los bordes de algunos de los minerales opacos. La roca tiene una textura granoblástica. En comparación con la filita cuarzosa (PMOG 2-1) ésta muestra presenta un tamaño de grano evidentemente mayor y los cristales presentan un aspecto menos difuso y más claro. Se identificó la siguiente asociación mineral: **Qtz + Chl + Ms**. Las condiciones de metamorfismo no son determinables de forma exacta a partir de la petrografía, aunque la roca podría haberse formado bajo condiciones de **grado bajo de metamorfismo**. En términos de un evento dinamo-térmico regional, podría corresponder a las facies esquistos verdes, subfacies: clorita.

8.3 ROCAS DE TIPO COMPOSICIONAL CARBONATADO

8.3.1 Roca metacarbonatada (PMOG 3-2). Los componentes de la muestra se observan levemente orientados de forma concordante con la sutil orientación preferencial de la roca, la foliación es continua y la roca presenta una textura predominantemente granoblástica. Los componentes minerales tienen un alto rango de estabilidad a las condiciones de presión y temperatura, de modo que, a partir de los datos obtenidos, se pueden dar sólo algunas apreciaciones acerca del posible grado de metamorfismo incidente: este podría ser bajo. Las asociaciones minerales o paragénesis identificadas son: Qtz + Cal + Ep; Chl + Cal + Qtz; Ms + Cal + Qtz y, Ms + Tr + Cal. En términos de metamorfismo regional, podría hablarse de facies esquistos verdes, subfacies clorita.

8.4 OTRAS MUESTRAS

8.4.1 Arcillolita Shale (PMOG 3-4). Los datos obtenidos a partir de esta roca provienen de la descripción en muestra de mano y del análisis cualitativo de facies minerales por DRX; la arcillolita shale presenta un aspecto sedimentario y exhibe fisilidad, aun así, la presencia de montmorillonita indica que esta roca estuvo expuesta a condiciones que la ubicarían en alguna etapa temprana de la zona de transición entre la diagénesis y el metamorfismo; sin embargo, hacen falta análisis más detallados para caracterizar la muestra en términos de los posibles eventos de deformación.

8.4.2 Lodolita Arenosa (PMOG 4-1). Presenta un aspecto sedimentario, los datos obtenidos a través de la difracción de rayos X no revelan la presencia de minerales que indiquen de cierta manera un grado de metamorfismo muy bajo.

8.4.3 Pizarra (PMOG 7-1). Ésta muestra conserva visiblemente el plano de estratificación (S_0) y muchas de las características sedimentarias de la roca original, sin embargo, un clivaje pizarroso subperpendicular a la estratificación, desarrollado notoriamente en los niveles arcillosos, permite concluir con certeza que al menos un evento de deformación dinamo-térmico afectó esta litología, aunque con un impacto reducido. La presencia de un clivaje paralelo a S_0 no fue determinada con claridad, pero de ser corroborado, indicaría la acción de un episodio de deformación adicional.

En el siguiente cuadro, se presenta el resumen de los datos presentados en esta sección, estos fueron determinados a partir de la información obtenida sobre las texturas, estructuras y asociaciones minerales o paragénesis de cada muestra.

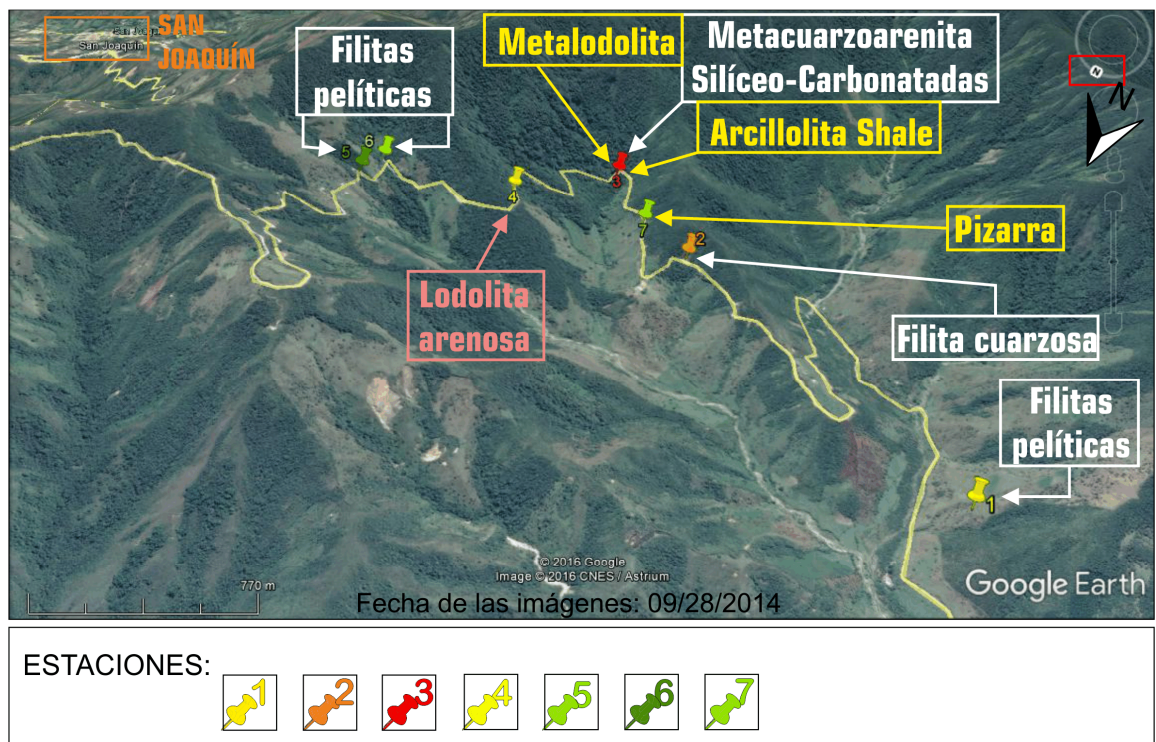
Cuadro 15. Grado de metamorfismo determinado para las muestras estudiadas.

Tipo composicional	Litotipos	Asociaciones minerales	Grado de metamorfismo
Pelítico	Filitas pelíticas. (PMOG 1-1, PMOG-5-1, PMOG 5-2, PMOG 6-1 y PMOG 6-3)	Qtz+Ms+Chl/Clc	Bajo grado
	Metalodolita (PMOG 3-1)	Qtz+Ms+Chl/Clc	Muy bajo grado
Cuarzo-feldespático	Filita cuarzosa (PMOG 2-1)	Qz+Ms+Chl/Clc; Pl+Ms+Chl/Clc.	Bajo grado (posiblemente)
	Metacuarzoarenita (PMOG 3-3)	Qtz+Chl+Ms	Bajo grado (posiblemente)
Carbonatado	Roca silíceo- carbonatada (PMOG 3-2)	Qtz + Cal + Ep; Chl + Cal + Qtz; Ms + Cal + Qtz; Ms + Tr + Cal	Bajo grado (posiblemente)
Otras muestras	Arcillolita shale (PMOG 3-4)	-	Muy bajo grado Etapa temprana entre la transición diagénesis-metamorfismo.
	Lodolita arenosa (PMOG 4-1)	-	No se evidencia
	Pizarra (PMOG 7-1)	-	No determinado, posiblemente: grado muy bajo.

9. DISCUSIÓN

Ubicando en el terreno las muestras adquiridas y, teniendo en cuenta los litotipos y el grado de metamorfismo que pudo determinarse para cada una de ellas, es posible observar como las rocas de bajo grado (cuadro y letras de color blanco), se ubican a los extremos de la zona, a diferentes alturas topográficas y, también se encuentran en la parte central del área, junto a rocas de muy bajo grado de metamorfismo (cuadros y letras amarillas); la muestra lodolita arenosa, que exhibe características de naturaleza sedimentarias se encuentra en medio de litologías de bajo grado.

Figura 38. Ubicación de los litotipos en el terreno. Los nombres y recuadros en color blanco hacen referencia a muestras con un bajo grado de metamorfismo, por otro lado, aquellos de color amarillo indican un grado muy bajo de metamorfismo y, finalmente, el color rosado señala rocas de naturaleza sedimentaria.



Fuente: modificado por autor, tomado de: programa informático Google Earth.

En este trabajo no se cuenta con datos suficientes para explicar la distribución espacial de los litotipos encontrados, sin embargo, es posible plantear que la parte central de la zona puede corresponder a un sector fallado, por lo cual rocas sedimentarias y metasedimentarias de muy bajo grado podrían encontrarse en medio de rocas que muestran un aspecto claramente sedimentario y diferencias litológicas considerables. Dicha estructura frágil no fue observada en campo, aunque algunos indicadores de falla fueron observados parcialmente. Las relaciones de campo de las litologías no se determinaron con claridad.

Por otro lado, se necesita un estudio más extenso o detallado para determinar el carácter regional o local del metamorfismo que afectó a algunas de las muestras adquiridas. El reciente trabajo de Pineda⁶⁶, realizado igualmente entre Mogotes y San Joaquín, describe que la Formación Floresta Metamorfoseada estaría conformada por tres (3) miembros, en donde el miembro inferior presenta un aspecto filítico, el medio exhibe el desarrollo de pizarrosidad y el superior no muestra rasgos que indiquen el efecto de procesos de metamorfismo de bajo a muy bajo grado.

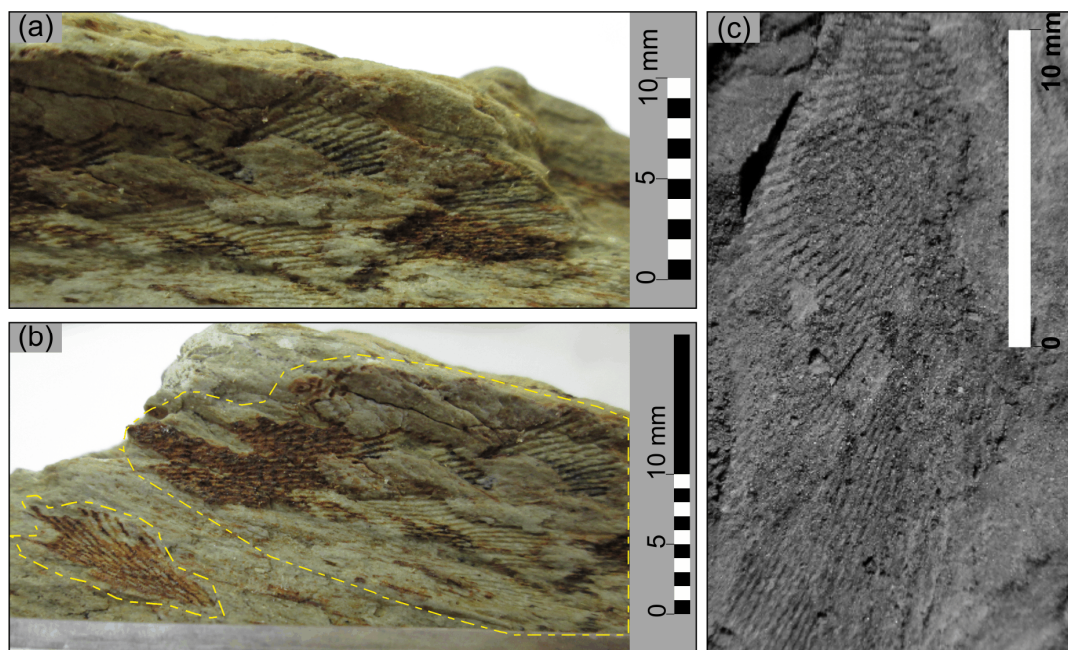
La muestra Lodolita arenosa (PMOG 4-1), podría corresponder a las rocas agrupadas por el citado autor en el miembro superior de la Formación Floresta y, la muestra Pizarra (PMOG 7-1), podría pertenecer al miembro medio de ésta misma unidad. Pineda⁶⁷ presenta dataciones Ar-Ar en sericitas neoformadas encontradas en los dominios de clivaje de la pizarrosidad existente en rocas del miembro medio, la edad obtenida es de 341.86 ± 9.72 Ma (Carbonífero - Mississippiano), la cual corresponde a la formación de las superficies de pizarrosidad, siendo estas asociadas a un evento de carácter local, propiciado por fallas.

⁶⁶ PINEDA, Julián. Caracterización mineralógica, petrográfica de las pizarras de la Formación Floresta Metamorfoseada (FFM), aflorante entre los municipios de Mogotes y San Joaquín (Cordillera Oriental, Colombia). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2016. Biblioteca UIS.

⁶⁷ *Ibid.*

Moreno, Gómez y Castillo⁶⁸, quienes proponen redefinir la Formación Floresta Metamorfoseada, realizan su estudio igualmente entre Mogotes y San Joaquín. Dentro de las muestras adquiridas por los citados autores, señalan impresiones de briozoarios (Fenestellidos) comunes en las litologías lodosas y con un bajo grado de conservación que no permite establecer un rango confiable de edad; dichas impresiones son similares a las encontradas en la muestra PMOG 3-4 y podrían corresponder potencialmente a Fenestellidos (éste trabajo de grado, no estuvo enfocado al reconocimiento de aquellas impresiones fósiles). Ver Figura 39.

Figura 39. Impresiones de fósiles. (a y b) muestra de arcillolita shale fosilífera PMOG 3-4 tomada en este trabajo de grado y, (c) Fenestellidos reportados por Moreno, Gómez y Castillo entre Mogotes y San Joaquín.



Fuente: (c) modificada por autor, tomada de: MORENO, Mario; GÓMEZ, Arley de Jesús y CASTILLO, Hadany. La "Formación Floresta Metamorfoseada" (sensu Ward *et al.*, 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. En: Congreso Colombiano de Geología (X: 2005. Julio 26-29: Bogotá). Memorias. Bogotá D.C.: 2005.

⁶⁸ MORENO, GÓMEZ y CASTILLO, Op Cit.

En uno de los mapas a escala regional publicados que involucran la zona tratada⁶⁹, parte del área es cartografiada como Formación Silgará. Rueda y Villamizar⁷⁰ realizan un estudio petrográfico en rocas de esta Formación aflorantes en la franja Matanza-Cachirí-Turbay (M-C-T), en el sector la secuencia se conforma por rocas pelíticas (esquistos cuarzo-moscovíticos con o sin granate y filitas) y semipelíticas (esquistos muscovítico-cuarzosos y metawacas); dichas filitas se encuentran milonitizadas por lo cual es difícil hacer una comparación con las encontradas entre Mogotes y San Joaquín, por otro lado, las muestras con bajo grado de metamorfismo reportadas en la nombrada franja M-C-T (facies esquistos verdes subfacies clorita) corresponden a litotipos diferentes (por ejemplo: esquistos). De forma similar, Fernández Rojas⁷¹ realizó un estudio petrográfico en rocas de la *Formación Silgará*⁷² aflorantes en inmediaciones del corregimiento de Berlín; según la autora, en ésta zona se presentan: semipelitas (cuarcitas con granate y cuarcitas), psamitas (cuarcitas) y pelíticas (esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate y esquistos moscovíticos-cuarzosos con o sin granate); con un metamorfismo en facies esquistos verdes subfacies biotita hasta facies anfibolita, parte baja de la zona de la andalucita; esto difiere de los litotipos y grado de metamorfismo observados entre Mogotes y San Joaquín.

La *Unidad Filitas de San Pedro* (UFSP), propuesta por Mantilla, García y Valencia⁷³, presenta ciertas similitudes con algunas de las muestras aflorantes en el sector de estudio. Según los autores, la UFSP (descrita en la franja Piedecuesta-Aratoca,

⁶⁹ WARD et al. Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000, Op Cit.

⁷⁰ RUEDA, Fernanda y VILLAMIZAR, Deicy. Petrografía de los esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay, Santander, Colombia. Trabajo de grado (pregrado Geología). Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2014, pp. 1-129.

⁷¹ FERNÁNDEZ ROJAS, Andrea. Petrografía de los esquistos del silgará en el sector de Berlín (Macizo de Santander). Trabajo de grado (pregrado Geología). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2015, pp. 1-82. Biblioteca UIS [Base de datos en línea].

⁷² WARD et al. Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona..., Op Cit.

⁷³ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos, Op Cit.

Mesa de San Pedro, vía Bucaramanga-Aratoca) se compone de filitas cloríticas (con cuarzo y muscovita/sericita) con foliación continua y fina, intercaladas con metareniscas (con cuarzo, muscovita, clorita, plagioclasa, feldespato y cantidades subordinadas de: opacos, circón y apatito; con textura predominante: lepidogranoblástica) y metalimolitas con débil foliación espaciada, además de posibles rocas metavolcanoclásticas. Indican un grado muy bajo de metamorfismo, ejemplificando con una muestra de metarenisca cuya asociación mineral es $Qtz + Ms + Chl \pm Kfs \pm Pl$, que “sumado al débil desarrollo microestructural y a la escasa recristalización indican condiciones de facies sub-esquisto verdes”⁷⁴.

En caso de determinarse un metamorfismo de carácter regional para algunas de las litologías aflorantes entre Mogotes y San Joaquín, sería probable plantear una relación con la UFSP, teniendo en cuenta las implicaciones en la evolución geológica de la zona que esto conllevaría. La edad de metamorfismo de la Unidad Filitas de San Pedro, es considerada Ordovícica tardía – Silúrico temprano, siendo formada por un evento orogénico Fammatiniano menor⁷⁵ (~450 Ma); la edad máxima de depositación del protolito (a partir de dataciones U-Pb en circones detríticos) es Ordovícica tardía (Katian) y picos de edades de circones detríticos entre 480 y 1000 Ma que indican que dentro de las fuentes del protolito podrían encontrarse rocas del mismo MS⁷⁶, como aquellas de la Unidad Ortonéis o Neis de Bucaramanga.

⁷⁴ *Ibíd.*, p. 40.

⁷⁵ *Ibíd.*

⁷⁶ MANTILLA, GARCÍA y VALENCIA. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander..., Op Cit.

10. CONCLUSIONES

En inmediaciones de Mogotes y San Joaquín afloran Lodolitas arenosas (con cuarzo, muscovita, clinocloro, calcita, siderita magnésiana, albita y rutilo) de naturaleza claramente sedimentaria, junto con rocas con un grado muy bajo de metamorfismo: arcillolitas shale (con cuarzo, muscovita, clinocloro, calcita, montmorillonita, albita, rutilo y sepiolita) y metalodolitas; adicionalmente, se presentan muestras que parecen alcanzar un grado de metamorfismo bajo: Filitas pelíticas (compuestas por muscovita y clorita/clinocloro, con menor cantidad de cuarzo y minerales opacos), Filitas cuarzosas (~40% de cuarzo, ~20% de muscovita, ~10% de clorita y ~5% de plagioclasa, así como minerales opacos y albita), metacuarzoarenitas (~56% de cuarzo, ~24% de clorita, ~5% de Feldespato potásico, ~3% de muscovita y ~4% de minerales opacos) y rocas silíceo-carbonatas (~38% de cuarzo, ~30% de calcita, ~11% de clorita, ~3% de muscovita, ~3% de minerales opacos como pirita, ~2% de epidota y cerca de un 1% de tremolita).

Las principales microtexturas de las rocas estudiadas a través de la petrografía son: lepidogranoblástica, granoblástica, porfidoblástica en matriz granoblástica (ligeramente desarrollada) y porfidoblástica en matriz lepidoblástica (ligeramente desarrollada).

De las rocas a las cuales se les pudo realizar lámina delgada, se determinó que la paragénesis (o asociación mineral) para aquellas de composición pelítica es: cuarzo + muscovita + clorita/clinocloro; mientras que para las de composición cuarzofeldespática se observaron las siguientes: cuarzo + muscovita + clorita/clinocloro y, plagioclasa + muscovita + clorita/clinocloro; finalmente, en la muestra carbonatada se determinaron: cuarzo + calcita + epidota, clorita + calcita + cuarzo, muscovita + calcita + cuarzo y muscovita + tremolita + calcita.

Las muestras estudiadas a través de la petrografía, presentan un desarrollo microestructural variable, exhibiendo en ocasiones una foliación diagenética relacionada con la estratificación del protolito (S_0) junto con una foliación metamórfica (S_1) sobreimpuesta; por otro lado, se encuentran rocas con ausencia de foliaciones diagenéticas, pero con una evidente orientación preferencial de los componentes, siendo asociada a una foliación metamórfica (S_n). Con mayor abundancia, se observaron muestras con dos direcciones de foliación metamórfica (S_1 y S_2), mostrando un clivaje de crenulación.

En lámina delgada se determinó que, de forma general, las muestras contienen una densidad considerable de venas (entre 1 y 2 familias por muestra, en su mayoría post-tectónicas) y fracturas. Las primeras, se componen de: cuarzo; clorita; cuarzo y clorita; cuarzo y plagioclasa; cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. Asociadas a las rocas de composición carbonatada se encuentran venas de calcita. Dentro de los minerales encontrados en las fracturas rellenas están: epidota, diferentes óxidos, clorita y rutilo. La zona presenta una alta actividad tectónica, evidenciada a escala microscópica por la presencia de venas desplazadas, cortadas, deformadas y plegadas.

11. RECOMENDACIONES

Realizar una cartografía a escala local que permita conocer a detalle las relaciones de campo de las litologías aflorantes, mejorando la delimitación y ubicación espacial de las unidades.

Llevar a cabo estudios específicos (por ejemplo, mediciones de cristalinidad de la illita mediante difracción de rayos X y/o microscopio electrónico de transmisión), bien sea en la zona de estudio o en otros sectores en los que afloren litologías de bajo a muy bajo grado dentro del Macizo de Santander, esto con la finalidad de determinar con mayor certeza las condiciones de formación de dichas litologías y, por consiguiente, contribuir a una mejor caracterización de los eventos de metamorfismo ocurridos dentro de esta provincia litotectónica.

Desarrollar trabajos sobre geología estructural que mejoren el conocimiento de la dinámica de la zona y la forma en la que ésta afecta las litologías aflorantes.

Determinar el carácter local o regional de los episodios tectonotermales que pudieron afectar las muestras aflorantes en la vía que comunica los Municipios de Mogotes y San Joaquín.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA FERREIRA, Sergio. Caracterización Petrográfica y Petroológica de los Neises, Migmatitas y Granulitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamento de Santander. Trabajo de grado Magister en Ciencias - Geología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias, 2012, p. 32.

ÁRKAI, Péter; SASSI, Francesco & DESMONS, Jacqueline. Very low to low grade Metamorphic rocks: Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks [En línea]. (2 Nov, 2003). Versión web 01/02/07. Disponible en: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/IUGS/0_IUGS.htm>. [Citado 20 de diciembre de 2016].

CAMPBELL, 1967. Citado en: CRUZ, Luis y CABALLERO, Víctor. Laboratorio No 6, Descripción y clasificación de estructuras sedimentarias [14-05-2007]. En: *Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos* [Impreso]. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología. (s.p.).

CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander. Escala: 1:250.000 [Memoria explicativa del mapa]. Instituto de investigaciones en Geociencias, minería y química (INGEOMINAS). Bucaramanga, diciembre, 1994, pp. 1-67. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

CRUZ, Luis y CABALLERO, Víctor. Laboratorio No 1 [Descripción y Clasificación de rocas terrígenas por su textura, 28-06-2007], Laboratorio No 2 [Descripción y clasificación por composición de las rocas terrígenas en muestra de mano, 28-06-2007] y Laboratorio No 6 [Descripción y clasificación de estructuras sedimentarias, 14-05-2007]. En: *Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos* [Impreso]. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología. (s.p.).

FERNÁNDEZ ROJAS, Andrea. Petrografía de los esquistos del silgará en el sector de Berlín (Macizo de Santander). Trabajo de grado (pregrado Geología). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2015, pp. 1-82. Biblioteca UIS [Base de datos en línea]. Disponible en: <<http://tangara.uis.edu.co>> [Catálogo Bibliográfico→ Trabajos de grado].

FORERO, A. Distribución de las rocas del Devónico en los Andes Colombianos. 1991. Citado por MORENO, Mario; GÓMEZ, Arley de Jesús y CASTILLO, Hadany. La "Formación Floresta Metamorfoseada" (sensu Ward *et al.*, 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. En: Congreso Colombiano de Geología (X: 2005. Julio 26-29: Bogotá). Memorias. Bogotá D.C.: 2005.

FREY, Martin & ROBINSON, Doug. eds. Low-Grade Metamorphism. Blackwell Science Ltd., 1999. 328 p. ISBN 0-632-04756-9.

GARCÍA RAMÍREZ, Carlos A. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica. Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Bucaramanga: Ediciones UIS, 2007. 88 p.

GARCÍA RAMIREZ, Carlos Alberto; RÍOS REYES, Carlos Alberto and CASTELLANOS, Oscar. Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*. Julio-diciembre, 2005, vol. 27 nro 2, pp. 44-46.

GOLDSMITH, Richard; MARVIN, Richard & MEHNERT, Harald. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey en cooperación con Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Minero, Republica de Colombia. *Geological Survey Research*. 1971, paper 750, pp. D44-D49.

MANTILLA, Luis Carlos; VALENCIA, Víctor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfiríticos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Santander, Colombia). *Boletín de Geología [UIS]*. 2009, vol. 21, nro. 1, pp. 31-43.

MANTILLA, Luis; MENDOZA, Hernando; BISSIG, Thomas y CRAIG, Hart. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Micénico en el distrito minera de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología [UIS]*, enero-junio, 2011, vol.33, nro.1. pp. 43-58.

MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA RAMÍREZ, Carlos Alberto y VALENCIA, V.A. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*. Enero-abril, 2016, vol. 38 nro 1, pp. 33-50. ISSN: 0120-0283.

MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA RAMÍREZ, Carlos Alberto y VALENCIA, Víctor A. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). *Revista Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Abril-junio, 2016, vol. 40, nro. 155. pp. 320-336. doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.303>. También disponible en línea: <http://www.raccefyn.co>.

MORENO, Mario; GÓMEZ, Arley de Jesús y CASTILLO, Hadany. La “Formación Floresta Metamorfoseada” (sensu Ward *et al.*, 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. En: Congreso Colombiano de Geología (X: 2005. Julio 26-29: Bogotá). Memorias. Bogotá D.C.: 2005.

PINEDA, Julián. Caracterización mineralógica, petrográfica de las pizarras de la Formación Floresta Metamorfoseada (FFM), aflorante entre los municipios de Mogotes y San Joaquín (Cordillera Oriental, Colombia). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2016. Biblioteca UIS [Base de datos en línea]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co> [Catálogo Bibliográfico→ Trabajos de grado].

REY LEON, Vanessa. Estudio de las rocas de la unidad Ortonéis en el Macizo de Santander: consideraciones petrológicas y geoquímicas. Trabajo de grado (pregrado Geología). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2015, pp. 20-21/116-125. Biblioteca UIS [Base de datos en línea]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co> [Catálogo Bibliográfico→ Trabajos de grado].

RÍOS REYES, Carlos Alberto; GARCÍA RAMIREZ, Carlos Alberto; TAKASU, A. Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation Metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. Junio, 2003, vol. 16, nro. 2, pp. 135-139. Elsevier: Science Direct [base de datos en línea]. Disponible en línea: [http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00025-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00025-7) [accesible a través de: base de datos, Biblioteca central UIS].

ROBINSON, D. & MERRIMAN, R. *Low-temperature metamorphism: an overview*. En: FREY, Martin & ROBINSON, Doug (eds.). *Low-Grade Metamorphism*. Blackwell Science Ltd., 1999. ISBN 0-632-04756-9.

ROYERO GUTIERREZ, José María. Memoria explicativa de la plancha 65, Tamalamenque. INGEOMINAS. Bucaramanga, 1993. Citado en CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander. Escala: 1:250.000 [Memoria explicativa del mapa]. INGEOMINAS. Bucaramanga, diciembre, 1994, pp. 1-71. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

ROYERO GUTIÉRREZ, José María y CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado del departamento de Santander. Memoria explicativa del mapa, escala: 1:400.000. Instituto de investigación e información geocientífica, minera-ambiental y nuclear, INGEOMINAS [Ahora: Servicio Geológico Colombiano]. 2001, pp. 1-71.

RUEDA, Fernanda y VILLAMIZAR, Deicy. Petrografía de los esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay, Santander, Colombia. Trabajo de grado (pregrado Geología). Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, 2014, pp. 1-129. Biblioteca UIS [Base de datos en línea]. Disponible en: <<http://tangara.uis.edu.co>> [Catálogo Bibliográfico→ Trabajos de grado].

SIIVOLA, Jaakko & SCHMID, Rolf. List of Mineral Abbreviations. En: FETTER, D. & DESMONS, J. (eds.). *Metamorphic Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rock*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. pp. 93-110. ISBN 978-0-521-33618-5. Disponible en: Biblioteca central, Universidad Industrial de Santander. También disponible de forma parcial en línea: <https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf>.

VAN DER LELIJ, Roelant; SPIKINGS, Richard; ULIANOV, Alexey; CHIARADIA, Massimo & MORA, Andrés. Paleozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*. Febrero, 2015, vol.31, p. 272. Elsevier: Science Direct [base de datos en línea]. Disponible en línea: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2015.01.011> [accesible a través de: base de datos, Biblioteca central UIS].

VARGAS, Rodrigo; ARIAS, Alfonso, JARAMILLO, Luis y TÉLLEZ, Noél. Geología del cuadrángulo I-13, Málaga. INGEOMINAS [actual servicio geológico colombiano], 1976, pp. 13-14. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en: <<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>>.

VARGAS, Rodrigo; ARIAS, Alfonso; JARAMILLO, Luis y TELLES, Noél. Geología de la Plancha 136 Málaga. transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013 [Mapa]. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 1987. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en: <http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>.

WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; JARAMILLO, C. y RESTREPO, Hernán. Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, departamento de Santander. U.S. Geological Survey e INGEOMINAS. *Boletín Geológico* [servicio Geológico Colombiano]. 1973, vol. 21, nro. 1-3, pp. 1-132.

WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; TELLEZ, N. y JARAMILLO, Luis. Mapa geológico San Gil y Málaga (parte de los cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. [mapa]. Escala 1:100.000. Ministerios de minas y petróleo, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-mineras, en cooperación con U.S. Geological Survey. 1977. SICAT [base de datos en línea]. Disponible en: <http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>.

WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; JARAMILLO, Luis y VARGAS, Rodrigo. Geología del cuadrángulo Pamplona H-13 [Mapa]. Escala 1:100.000. INGEOMINAS [actual Servicio Geológico Colombiano], 1977. SICAT [base de datos en línea] - US Geological Survey. Disponible en: <http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>.

ANEXOS

Anexo A. Composición mineralógica de las muestras.

Muestra	Número	COMPOSICIÓN MINERALÓGICA																																	
		Datos obtenidos a través de sección delgada o delgada pulida (%)																				DRX - Análisis cualitativo de las fases cristalinas presentes													
		Matriz de la roca									F1					F2			Fracturas			Total	Qtz	Ms*	Ms**	Clc*	Clc**	Ab	Cal	Mnt	Rt	Sep	Sd	Crs	
		Ms	Chl	Qtz	Kfs	Pl	Op	Ep	Cal	Tr	Qtz	Chl	Cal	Kfs	Pl	Qtz	Chl	Pl	Ep	Ox	Chl														Rt
Filita pelítica	PMOG 1-1	31	25	8	—	—	4	—	—	—	12	—	—	—	—	10	—	—	2	8	—	—	100	Análisis no realizado											
	PMOG 5-1	33	24	8	—	—	10	—	—	—	9	8	—	—	—	—	—	—	3	5	—	—	100	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	—	—	—	✓
	PMOG 5-2	30	25	8	—	—	4	—	—	—	14	—	—	—	—	—	10	—	2	7	—	—	100	Análisis no realizado											
	PMOG 6-1	21	18	4	—	—	5	—	—	—	16	—	—	4	5	11	—	2	4	5	5	—	100	✓	—	✓	—	✓	✓	—	—	—	—	—	—
	PMOG 6-3	Muestra sin lámina delgada																				Análisis no realizado													
Metalodolita	PMOG 3-1	33	25	12	—	—	3	5	—	—	5	6	—	—	—	2	—	—	—	9	—	—	100	✓	—	✓	—	✓	✓	—	—	—	—	—	—
Filita Cuarzosa	PMOG 2-1	20	10	40	—	5	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	10	2	100	Análisis no realizado											
Metacuarzoarenita	PMOG 3-3	4	24	56	5	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4	2	—	100	Análisis no realizado											
Silíceocarbonatada	PMOG 3-2	3	11	38	—	—	3	2	30	1	—	—	10	—	—	—	2	—	—	—	—	—	100	Análisis no realizado											
Arcillolita Shale fosilífera	PMOG 3-4	Muestra sin lámina delgada																				✓	—	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—		
Lodolita arenosa	PMOG 4-1	Muestra sin lámina delgada																				✓	✓	—	✓	—	✓	✓	—	✓	—	✓	—	✓	—
Pizarra	PMOG 7-1	Muestra sin lámina delgada																				Análisis no realizado													

	Muestras de composición pelítica
	Muestras de composición cuarzo feldespática
	Muestras de composición carbonatada
	Otras muestras

FASES CRISTALINAS IDENTIFICADAS A TRAVÉS DE DRX					
Qtz	Cuarzo	SiO ₂	Crs	Cristobalita	SiO ₂
Ms*	Muscovita	K Al ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Ms**	Muscovita	K Al ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (O H) ₂
Clc*	Clinocloro	(Mg _{2.96} Fe _{1.55} Fe. ₁₃₆ Al _{1.275}) (Si _{2.622} Al _{1.376} O ₁₀) (O H) ₈	Clc**	Clinocloro	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
Ab	Albita	Na (Al Si ₃ O ₈)	Cal	Calcita	Ca (CO ₃)
Mnt	Montmorillonita	Ca _{0.2} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ !4 H ₂ O	Rt	Rutilo	TiO ₂
Sep	Sepiolita	Mg ₄ Si ₆ O ₁₅ (OH) ₂ !6 H ₂ O	Sd	Siderita (magnesiana)	Ca _{0.1} Mg _{0.33} Fe _{0.57} (CO ₃)

Los porcentajes obtenidos de la petrografía se determinaron en base a diagramas de estimación visual de porcentajes.

Anexo B. Informe de resultados de difracción de rayos x [Archivo .pdf]

 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
		Versión: 01
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Página 1 de 10

FECHA	DIA	MES	AÑO	INFORME	INF-175-16-DRX
	03	06	2016		

DATOS DEL CLIENTE			
Empresa	Universidad Industrial de Santander		
Nombre	Carlos Alberto García Ramirez		
Dirección	Cra 27 calle 9	Nit o C.C	8902021213-4
Ciudad	Bucaramanga	Orden de Compra	N/A
e-mail	cgarciar@uis.edu.co	Teléfono	

METODOLOGIA DE TRABAJO																									
Preparación de las muestras	<ul style="list-style-type: none"> Las muestras fueron pulverizadas y homogenizadas en un molino de discos de tungsteno. Posteriormente los especímenes seleccionados de las muestras fueron montados en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal. 																								
Condiciones de medición	<ul style="list-style-type: none"> Se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones: <table style="margin-left: 20px;"> <tr><td>Voltaje</td><td>40 (kV)</td></tr> <tr><td>Corriente</td><td>30 (mA)</td></tr> <tr><td>Rendija de Divergencia</td><td>0,6 mm</td></tr> <tr><td>Rendijas Soller Primario</td><td>2,5°</td></tr> <tr><td>Muestreo</td><td>0,01526° 2theta</td></tr> <tr><td>Rango de Medición</td><td>3,5-70,0° 2Theta</td></tr> <tr><td>Radiación</td><td>CuKαI</td></tr> <tr><td>Filtro</td><td>Níquel</td></tr> <tr><td>Uso de Anti-dispersor de Aire</td><td>Si</td></tr> <tr><td>Detector</td><td>Lineal LynxEye</td></tr> <tr><td>Tipo de barrido</td><td>A pasos</td></tr> <tr><td>Tiempo de muestreo</td><td>0,4 segundos</td></tr> </table> 	Voltaje	40 (kV)	Corriente	30 (mA)	Rendija de Divergencia	0,6 mm	Rendijas Soller Primario	2,5°	Muestreo	0,01526° 2theta	Rango de Medición	3,5-70,0° 2Theta	Radiación	CuK α I	Filtro	Níquel	Uso de Anti-dispersor de Aire	Si	Detector	Lineal LynxEye	Tipo de barrido	A pasos	Tiempo de muestreo	0,4 segundos
Voltaje	40 (kV)																								
Corriente	30 (mA)																								
Rendija de Divergencia	0,6 mm																								
Rendijas Soller Primario	2,5°																								
Muestreo	0,01526° 2theta																								
Rango de Medición	3,5-70,0° 2Theta																								
Radiación	CuK α I																								
Filtro	Níquel																								
Uso de Anti-dispersor de Aire	Si																								
Detector	Lineal LynxEye																								
Tipo de barrido	A pasos																								
Tiempo de muestreo	0,4 segundos																								
Ensayo	<ul style="list-style-type: none"> Análisis Cualitativo El análisis cualitativo de las fases presentes en las muestras se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del <i>International Centre for Diffraction Data</i> (ICDD). 																								
Tratamiento de las muestras	Químico <input type="checkbox"/> Térmico <input type="checkbox"/> Ninguno <input checked="" type="checkbox"/>																								

 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	
		Versión: 01
		Página 2 de 10

TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS			
Fecha de recepción de las muestras	25/05/2016	Fecha de medición	31/05/2016 01/06/2016
Tipo de muestras	Minerales	Fecha análisis de resultados	01/06/2016

RESULTADOS OBTENIDOS

En las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 se describen las fases cristalinas presentes en las muestras con códigos internos d9sj, d9sk, d9sl, d9sm y d9sn. Estas fases fueron identificadas con la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD). En las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran los perfiles de difracción obtenidos con los análisis comparativos de las fases encontradas.

I. PMOG-4-1 (D9SJ):

Tabla 1. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) en la muestra con código interno d9sj.

	FASES	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	Si O ₂	000-85-0795	Cuarzo
	K Al ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	000-84-1302	Moscovita
	(Mg _{2.96} Fe _{1.55} Fe _{1.36} Al _{1.275}) (Si _{2.622} Al _{1.376} O ₁₀) (OH) ₈	000-79-1270	Clinocloro
	Ca (CO ₃)	000-86-2342	Calcita
	Ca _{0.1} Mg _{0.33} Fe _{0.57} (CO ₃)	000-80-0502	Siderita magnésiana
	Na (AlSi ₃ O ₈)	000-75-1142	Albita
	Ti O ₂	000-78-1510	Rutilo

 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
		Versión: 01
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Página 3 de 10

2. PMOG-3-4 (D9SK):

Tabla 2. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) en la muestra con código interno d9sk.

	FASES	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	Si O_2	000-85-0795	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{O H})_2$	000-82-0576	Moscovita
	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{O H})_8$	000-29-0701	Clinocloro
	$\text{Ca} (\text{C O}_3)$	000-86-2342	Calcita
	$\text{Ca}_{0.2} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{O H})_2 \cdot 4 \text{H}_2 \text{O}$	000-13-0135	Montmorillonita
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	000-75-1142	Albita
	Ti O_2	000-83-2242	Rutilo
	$\text{Mg}_4 \text{Si}_6 \text{O}_{15} (\text{O H})_2 \cdot 6 \text{H}_2 \text{O}$	000-13-0595	Sepiolita

3. PMOG-5-1 (D9SL):

Tabla 3. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) en la muestra con código interno d9sl.

	FASES	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	Si O_2	000-85-0795	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{O H})_2$	000-82-0576	Moscovita
	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{O H})_8$	000-29-0701	Clinocloro
	Si O_2	000-82-1233	Cristobalita

 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
		Versión: 01
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Página 4 de 10

4. PMOG-3-I (D9SM):

Tabla 4. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) en la muestra con código interno d9sm.

	FASES	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	Si O_2	000-85-0795	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	000-82-0576	Moscovita
	$(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0701	Clinocloro
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	000-75-1142	Albita

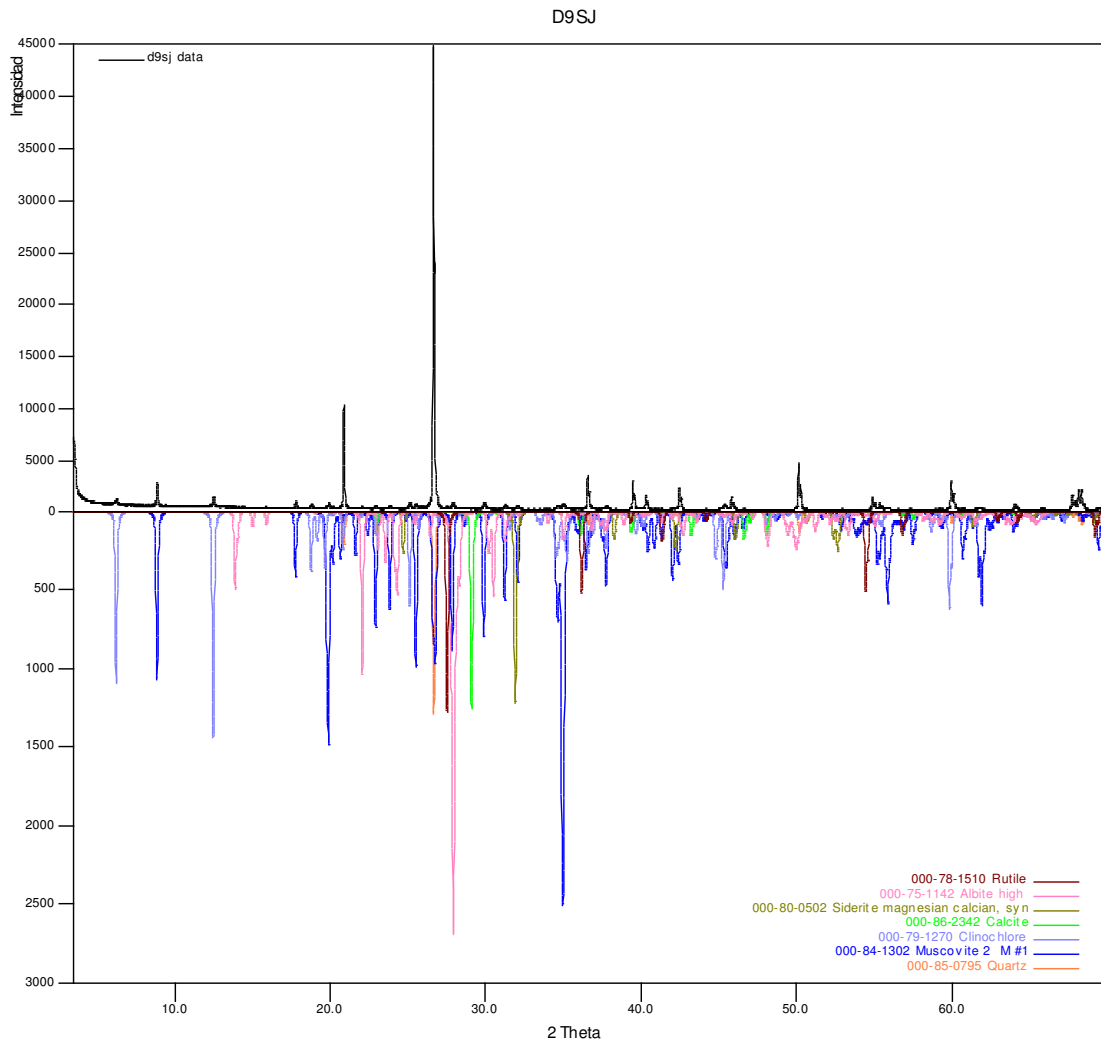
5. PMOG-6-I (D9SN):

Tabla 5. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) en la muestra con código interno d9sn.

	FASES	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	Si O_2	000-85-0795	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	000-82-0576	Moscovita
	$(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0701	Clinocloro
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	000-75-1142	Albita

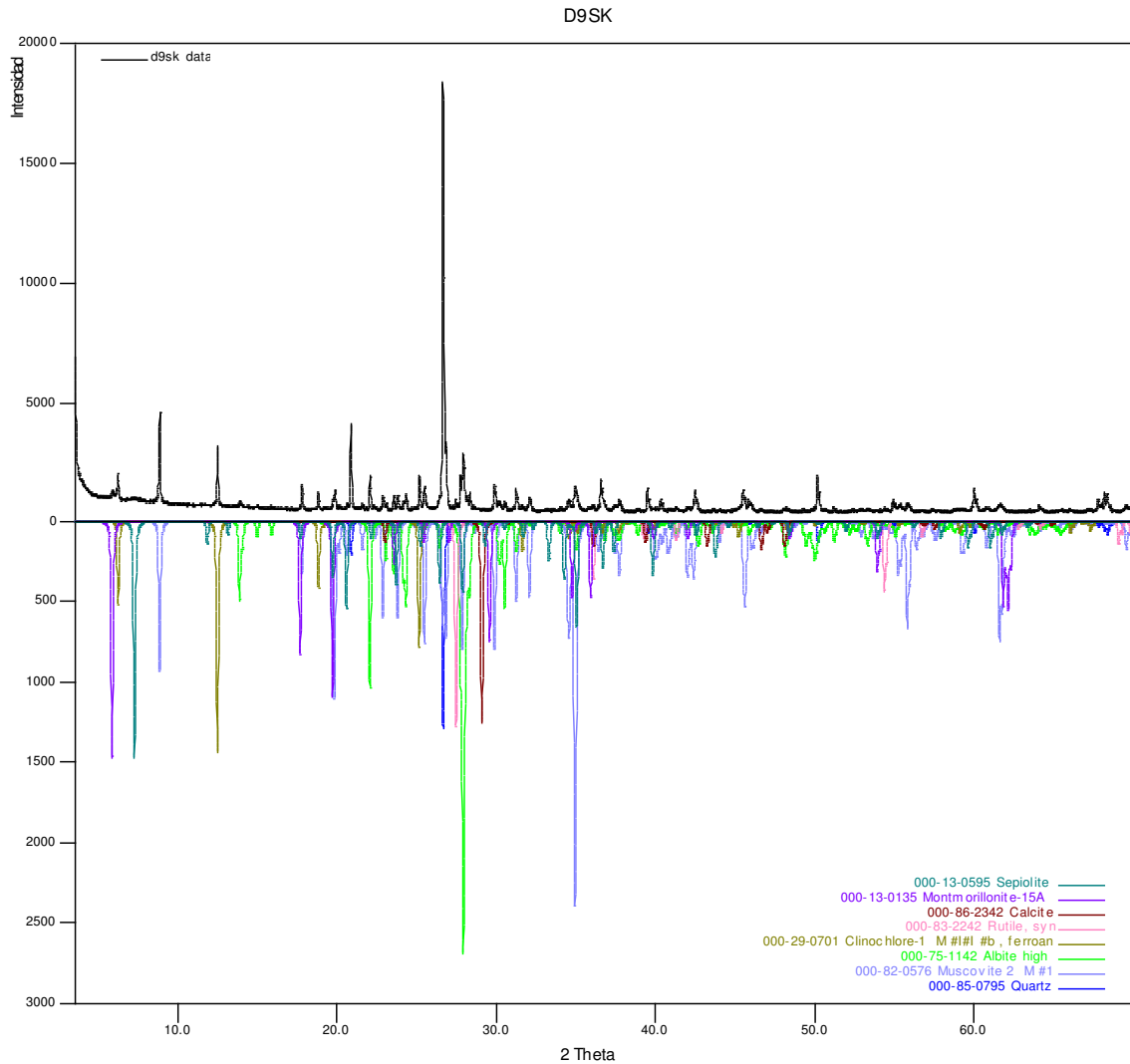
 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
		Versión: 01
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Página 5 de 10

Figura 1. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en la muestra con código interno d9sj.



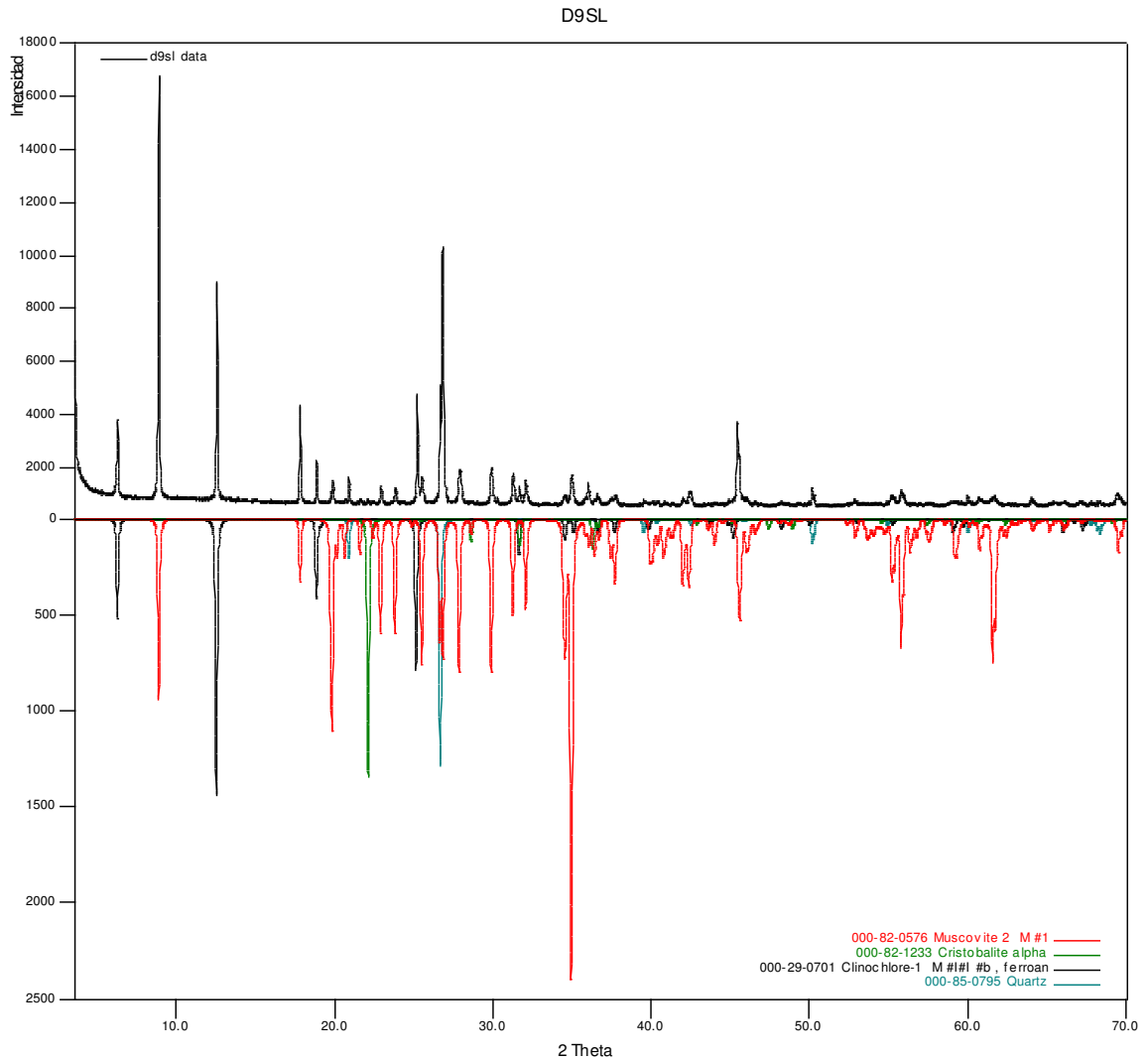
 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Versión: 01 Página 6 de 10

Figura 2. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en la muestra con código interno d9sk.



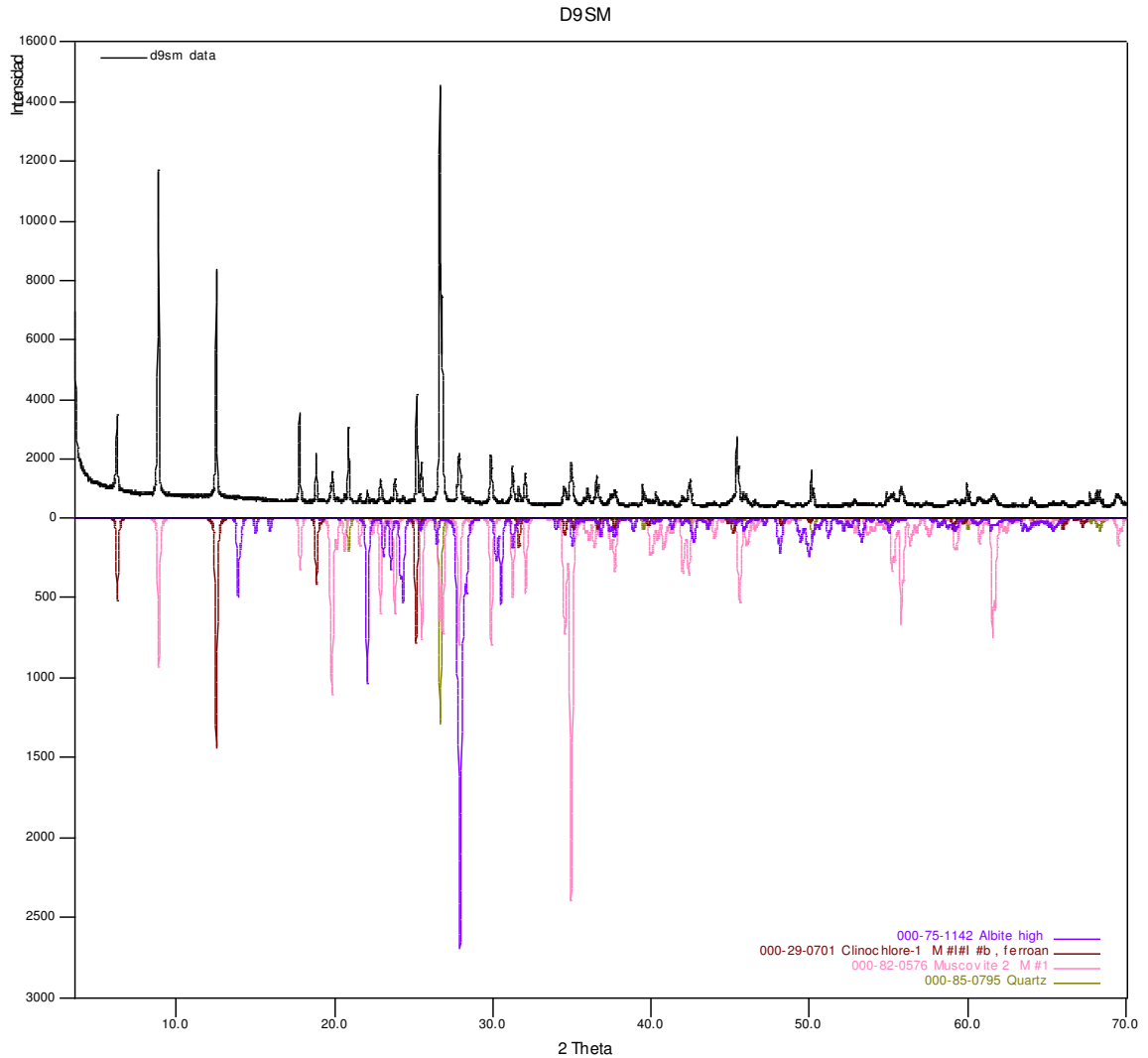
 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Versión: 01 Página 7 de 10

Figura 3. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en la muestra con código interno d9sl.



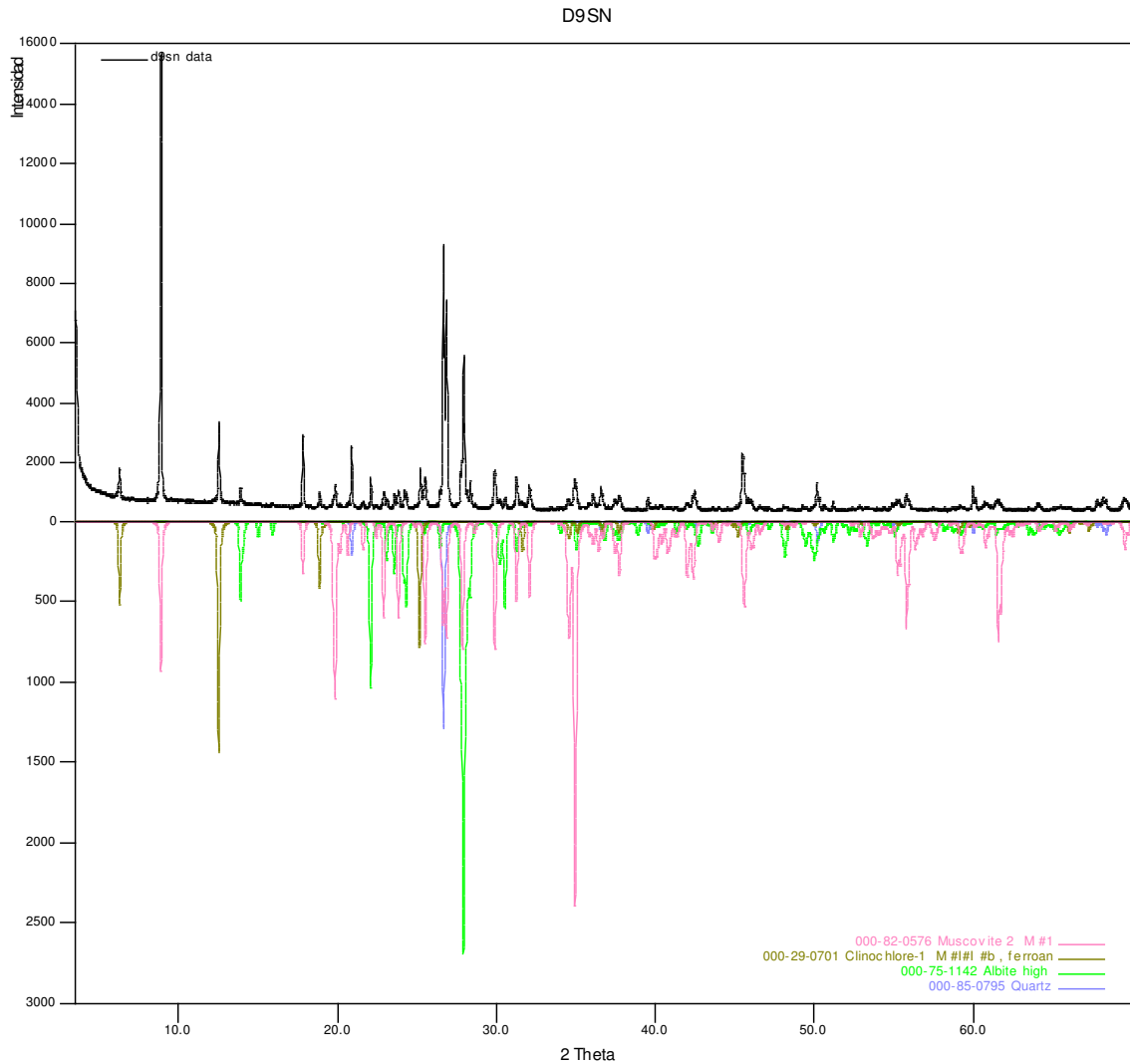
 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Versión: 01 Página 8 de 10

Figura 4. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en la muestra con código interno d9sm.



 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Versión: 01 Página 9 de 10

Figura 5. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en la muestra con código interno d9sn.



 	LABORATORIO DE RAYOS X UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	Versión: 01 Página 10 de 10

Observaciones:

- Los resultados se relacionan únicamente a las muestras analizadas.
- **Se recomienda realizar un análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.**
- Si desea expresar su percepción con respecto al presente servicio o ensayo, hágalo por medio del correo electrónico calidadrx@uis.edu.co o al PBX: 6344000 Ext. 3512.
- No se debe reproducir el informe de ensayo excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.

Elaboró:	Revisó:	Aprobó:
Qco. John Deiver Bonilla Jaimes Profesional Analista Laboratorio de rayos-X PQ. 4175	Qco. Msc. Jose Hernando Quintana Mendoza Director Técnico laboratorio de rayos-X PQ. 3408	Dr. José Antonio Henao Martínez. Director Laboratorio Rayos-X PQ. 0321