

**PETROGRAFÍA DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN LA FRANJA  
MATANZA-CACHIRÍ-TURBAY, SANTANDER, COLOMBIA.**

**LUISA FERNANDA RUEDA GARZON  
DEICY YOCELIN VILLAMIZAR PABÓN**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2014**

**PETROGRAFÍA DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN LA FRANJA  
MATANZA-CACHIRÍ-TURBAY, SANTANDER, COLOMBIA.**

**LUISA FERNANDA RUEDA GARZON  
DEICY YOCELIN VILLAMIZAR PABÓN**

**PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
GEÓLOGO**

**DIRECTOR  
CARLOS ALBERTO GARCÍA RAMÍREZ  
Geólogo, PhD**

**CODIRECTOR  
ELIECER URIBE PORTILLA  
Geólogo, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DEDICADO A**

*Dios por darme el entendimiento, la sabiduría, paciencia y confianza necesarios,*

*A Mis padres y hermanas por su apoyo incondicional,*

*A todas los que hicieron parte del importante proceso de formación como profesional  
y persona,*

*Y a Yocelin por invitarme a realizar este proyecto.*

*Luisa Rueda*

## DEDICATORIA

*A Dios por mostrarme el camino para alcanzar mis sueños y por sonreírme siempre.*

*A mis padres Luis Alfredo Villamizar e Hilda Pabón Pabón por su entrega, por su ejemplo de constancia, perseverancia y amor, y por ser lo más valioso que tengo.*

*A mi hermana Leidy Rocío por acompañarme durante toda su vida y por esa muestra de unión y de alegría.*

*Para meus anjos: Fredy, Yuleidy, Paola y Betsy por ser el ensueño hecho realidad y la parte más sublime de mi corazón.*

*A José Luis G.M por incentivar me a hacer mejor cada cosa, y porque las enseñanzas y los buenos recuerdos quedan.*

*A toda mi familia Villamizar Pabón por su apoyo y acompañamiento.*

*A mis amigos por su compañía y abrazo en los momentos difíciles y divertidos y a todas las personas que alguna vez me brindaron un gesto amable.*

*A mi compañera de tesis Luisa Fernanda por su compromiso y dedicación con este proyecto.*

*A todos Gracias.*

*Deicy Yocelin Villamizar Pabón*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Carlos Alberto García Ramírez por su acompañamiento en todas las fases de este proyecto, sus valiosas enseñanzas y asesorías.

Al profesor Eliecer Uribe Portilla por ser la primera persona en aceptar acompañarnos a emprender este proyecto.

Al profesor Carlos Alberto Ríos Reyes por su colaboración y apoyo en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad Industrial de Santander.

A Luis Eduardo Garrido por la asistencia prestada en el laboratorio de Preparación de Muestras de la escuela de Geología, UIS.

A la Vicerrectoría de Investigación y extensión por financiar la etapa de campo y elaboración de secciones delgadas mediante el proyecto 9435 “Estructura y evolución del basamento cristalino del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia)”.

Al Laboratorio de Microscopía de la Universidad Industrial de Santander – Parque Tecnológico de Guatiguará y su personal, en especial a la profesional analista Carolina Mendoza Luna, por el servicio de microscopía suministrado para la adquisición de datos.

A todos los profesores de la Escuela de Geología que hicieron parte de este proceso de formación profesional.

A las personas del Corregimiento de Turbay, Santander por su amabilidad y disposición para colaborar con la fase de campo de este proyecto.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	19
1. OBJETIVOS.....	20
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2. GENERALIDADES .....	21
2.1 LOCALIZACIÓN.....	21
2.2 GEOMORFOLOGÍA.....	23
2.3 DRENAJES.....	23
2.4 CLIMA Y VEGETACIÓN .....	25
3. MARCO GEOLÓGICO.....	26
3.1 ESTRATIGRAFÍA .....	26
3.2 TECTÓNICA .....	29
4. ANTECEDENTES.....	31
4.1 BLOQUE FLORESTA.....	31
4.1.1 Franja Pescadero-Aratoca .....	31
4.1.2 Franja Floresta-Corrales-Otengá .....	35
4.2 BLOQUE OCAÑA .....	35
4.2.1 Franja Sardinata-Ábrego-Hacarí .....	35
4.2.2 Franja Mutiscua .....	36
4.2.3 Franja Matanza-Cachirí-Turbay .....	40
4.3 BLOQUE PAMPLONA .....	41
4.3.1 Franja Pamplona.....	41
5. METODOLOGÍA .....	45
5.1 ETAPA 1: PRE-CAMPO .....	45
5.2 ETAPA 2: TRABAJO DE CAMPO.....	45
5.3 ETAPA 3: TRABAJO DE LABORATORIO .....	46
5.3.1 Preparación de muestras y elaboración de secciones delgadas .....	46

5.3.2 Análisis petrográfico.....	46
5.3.3 Química Mineral.....	47
5.4 ETAPA 4: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
5.5 ETAPA 5: ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL.....	49
6. GEOLOGÍA LOCAL.....	50
6.1 ESTRATIGRAFÍA.....	50
6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	57
7. PETROGRAFÍA.....	58
7.1 ROCAS PELÍTICAS.....	61
7.1.1 Esquistos cuarzo-muscovíticos con granate.....	61
7.1.2 Esquistos cuarzo-muscovíticos.....	66
7.1.3 Filitas.....	73
7.2 ROCAS SEMIPELÍTICAS.....	78
7.2.1 Esquistos muscovítico-cuarzosos.....	78
7.2.2 Metawacas.....	85
8. QUÍMICA MINERAL.....	90
8.1 MUSCOVITA.....	90
8.2 CLORITA.....	93
8.3 BIOTITA.....	95
8.4 GRANATE.....	95
8.5 MINERALES ACCESORIOS Y OPACOS.....	96
9. METAMORFISMO.....	99
9.1 METAMORFISMO REGIONAL.....	99
9.1.1 Zona de la Clorita.....	99
9.1.2 Zona de la Biotita.....	100
9.1.3 Zona del Granate.....	101
9.2 METAMORFISMO RETROGRADO.....	105
9.3 METAMORFISMO DINÁMICO.....	105
10. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN OTRAS FRANJAS DEL MACIZO DE SANTANDER.....	110

11. DISCUSIÓN .....	114
12. CONCLUSIONES .....	116
13. RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS .....	129

## RELACIÓN FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	22
Figura 2. Fotografías del área de estudio. ....	24
Figura 3. Mapa geológico y tectónico del Macizo de Santander.....	27
Figura 4. Mapa geológico del área de estudio. ....	53
Figura 5. Subdivisión de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y mica. ....	59
Figura 6. Afloramiento de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate.. ....	61
Figura 7. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate.....	65
Figura 8. Afloramiento de esquistos cuarzo-muscovíticos. ....	66
Figura 9. Muestra de mano de esquistos cuarzo-muscovíticos. Muestra DL 12-2.	67
Figura 10. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos.....	71
Figura 11. Afloramiento de filitas (A).....	73
Figura 12. Detalle de afloramiento A.....	74
Figura 13. Microfotografías de las filitas. ....	77
Figura 14. Afloramiento de esquistos muscovíticos-cuarzosos.....	78
Figura 15. Muestra de mano de esquistos muscovítico-cuarzosos.....	79
Figura 16. Microfotografías de esquistos muscovíticos-cuarzosos.. ....	84
Figura 17. Afloramiento de metawacas.....	85
Figura 18. Muestra de mano de metawacas.....	87
Figura 19. Microfotografías de metawacas.. ....	89
Figura 20. Espectros de dispersión de energía de rayos X para la muscovita. ....	92
Figura 21. Espectros de dispersión de energía de rayos X para la clorita.. ....	94
Figura 22. Espectro de dispersión de energía de rayos X para la biotita en rocas pelíticas.....	95
Figura 23. Espectro de dispersión de energía de rayos X para el granate en rocas pelíticas.....	96
Figura 24. Espectros de dispersión de energía de rayos X para los minerales accesorios y opacos.. ....	98

Figura 25. Microfotografías de rocas pelíticas y semipelíticas en la zona de la clorita. ....	102
Figura 26. Microfotografías de rocas pelíticas y semipelíticas en las zonas de la biotita y granate. ....	103
Figura 27. Mapa geológico y zonas metamórficas del área de estudio. ....	104
Figura 28. Microfotografías: evidencias de metamorfismo retrogrado. ....	107
Figura 29. Microfotografías: evidencia de metamorfismo dinámico. ....	108
Figura 30. Continuación microfotografías: evidencia de metamorfismo dinámico .....	109
Figura 31. Mapa tectónico del Macizo de Santander y franjas de los Esquistos del Silgará. ....	111
Figura 32. Características de las diferentes franjas de los Esquistos del silgará .....	113

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Listado de muestras y análisis realizados.....	48
Tabla 2. Abreviaturas minerales usadas.....	49
Tabla 3. Clasificación de rocas compuestas en su mayoría de cuarzo-mica- feldespatos. ....	58
Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará. ....	60
Tabla 5. Composición química de la muscovita.....	91
Tabla 6. Composición química de la clorita. ....	93
Tabla 7. Composición química de la biotita. ....	95
Tabla 8. Composición química del granate.....	96
Tabla 9. Composición química de los minerales accesorios y opacos. ....	97

## ANEXOS

Anexo A: Catálogo muestras macroscópicas .....	129
Anexo B: Descripciones de muestras en sección delgada pertenecientes a los Esquistos del Silgará franja Matanza-Cachirí-Turbay .....	129
Anexo C: Mapa geológico y zonas metamórficas del área de estudio.....	129

## RESUMEN

**TÍTULO:** PETROGRAFÍA DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN LA FRANJA MATANZA-CACHIRÍ-TURBAY, SANTANDER, COLOMBIA\*

**AUTORES:** Luisa Fernanda Rueda & Deicy Yocelin Villamizar Pabón.\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Esquistos del Silgará, Macizo de Santander, Franja Matanza-Cachirí-Turbay.

**DESCRIPCIÓN:** Los Esquistos del Silgará aflorantes en el sector centro-occidental del Macizo de Santander, en la franja Matanza-Cachirí-Turbay se estudiaron mediante trabajo de campo, microscopía óptica de luz transmitida y microscopía electrónica de barrido-SEM. Los Esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay ocurren como una secuencia de rocas pelíticas consistentes en esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate, filitas y semipelíticas, compuestas por esquistos muscovítico-cuarzosos, metawacas. Estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de grado bajo, que alcanzó temperaturas máximas de 440°C y presiones entre 2 y 3,7 Kbares, indicando la parte baja de la zona del granate de la facies esquistos verdes, otras paragénesis definidas indican la zona de la clorita y biotita de la facies esquistos verdes. También se identifica una posible etapa retrograda y un metamorfismo dinámico sobreimpuesto, asociado al sistema de fallas Suratá-Arboledas y a las fallas satélites que afectan a las rocas a diferentes niveles estructurales.

Los Esquistos del Silgará en las franjas del Macizo de Santander (Pescadero-Aratoca, Pamplona, Mutiscua, Sardinata-Abrego-Hacarí y Matanza-Cachirí-Turbay), presentan diferencias relacionadas con el grado de metamorfismo y la litología, es decir que esta unidad litológica es más heterogénea de lo planteado hasta ahora, siendo necesario estudios geocronológicos y geoquímicos que permitan determinar la edad y los ambientes de formación de los protolitos en el contexto de los Andes del Norte.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: PhD. Carlos Alberto García Ramírez. Codirector: M.Sc. Eliecer Uribe Portilla.

## ABSTRACT

**TITLE:** PETROGRAPHY FROM SILGARÁ SCHISTS IN THE FRINGE MATANZA-CACHIRÍ-TURBAY, SANTANDER, COLOMBIA\*

**AUTHORS:** Luisa Fernanda Rueda y Deicy Yocelin Villamizar Pabón.\*\*

**KEYWORDS:** Silgará Schists, Santander Massif, fringe Matanza-Cachirí-Turbay.

**DESCRIPTION:** The Silgará schists that crops out in the center-western region of the Santander Massif, in the Matanza-Cachirí-Turbay area were studied by field work, transmitted light optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The Silgará Schists in the fringe Matanza-Cachirí-Turbay are a sequence of pelitic rocks composed by quartz-muscovite schists with or without garnet, phyllites and semipelitic rocks constituted for muscovite-quartz schists, metabasalts. These rocks were affected by a low-grade regional metamorphism that reached maximum temperatures by 440°C and pressures between 2-3,7 Kbars, which are indication the low part from garnet zone, greenschist facies, other assemblages defined corresponds to the chlorite and biotite zones of greenschist facies. Also we identified a probably retrograde metamorphism and a overprinting dynamic metamorphism related with the Suratá-Arboledas fault system and local faults that affect to the rocks in a different structural levels.

The Silgará schists in the different fringes of the Santander Massif (Pescadero-Aratoca, Pamplona, Mutiscua, Sardinata-Ábrego-Hacarí and Matanza-Cachirí-Turbay), present differences in the metamorphism grade and the lithology, this explain that the Silgará schist are lithologic unit more heterogeneous than considered so far, being necessary geochronological and geochemical studies to determine the age and environment of formation of the protoliths in the context of the Northern Andes.

---

\* Degree Work.

\*\* Faculty of Physics-Chemistry Engineering. School of Geology. Director: PhD. Carlos Alberto García Ramírez. Co-director: M.Sc. Eliecer Uribe Portilla.

## INTRODUCCIÓN

La unidad litodémica Esquistos del Silgará aflorante en el Macizo de Santander, flanco este de la Cordillera Oriental, ha sido el objeto de estudio del presente trabajo de investigación, en el que se realizaron estudios de campo, petrográficos y químicos en la franja Matanza-Cachirí-Turbay, donde se identificaron rocas metamórficas pelíticas y semipelíticas, las cuales están compuestas por esquistos cuarzo-muscovíticos con y sin granate, filitas y esquistos muscovítico-cuarzosos, metawacas, respectivamente. Los resultados de los análisis petrográficos y químicos indican un metamorfismo progrado que alcanzó la parte baja de la zona del granate de la facies esquistos verdes (pico metamórfico) con temperaturas de hasta 440°C (Spear, 1993); también se encontró evidencia de una posible etapa retrograda y de un metamorfismo dinámico posterior.

El proyecto de grado se realizó bajo la modalidad de “Trabajo de Investigación” y forma parte del proyecto de investigación 9435 “Estructura y evolución del basamento cristalino del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia)”, financiado por la Universidad Industrial de Santander y COLCIENCIAS.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar y estudiar los diferentes litotipos que constituyen los Esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay, Santander; con el propósito de aportar nuevo conocimiento geológico a este sector del Macizo de Santander.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar la composición mineralógica, los rasgos texturales y microestructurales de los Esquistos del Silgará.
- ✓ Identificar los litotipos que constituyen los Esquistos del Silgará en la faja Matanza-Cachirí-Turbay.
- ✓ Con base en el análisis paragenético, sugerir las condiciones cualitativas del metamorfismo presentado por los Esquistos del Silgará en el área de estudio.
- ✓ Correlacionar las diferentes franjas donde afloran los Esquistos del Silgará, a partir de la caracterización de esta en el área de estudio y con respecto a la bibliografía existente de las demás fajas en el Macizo de Santander.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 LOCALIZACIÓN

La zona del presente estudio se localiza en el departamento de Santander, provincia de Soto, entre los municipios de Matanza y Suratá, hacia la parte centro occidental del Macizo de Santander, (Fig. 1). Abarca un área aproximada de 700 km<sup>2</sup> y se encuentra limitada por las coordenadas topográficas:

X<sub>1</sub>: 1.295.000    X<sub>2</sub>: 1.330.000

Y<sub>1</sub>: 1.105.000    Y<sub>2</sub>: 1.125.000

Dentro las planchas 97-IV-D, 98-III-C, 109-II-B, 109-II-D, 109-IV-D, 110-I-A, 110-I-C y 110-III-A del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X: 1.000.000; Y: 1.000.000 de Santafé de Bogotá.

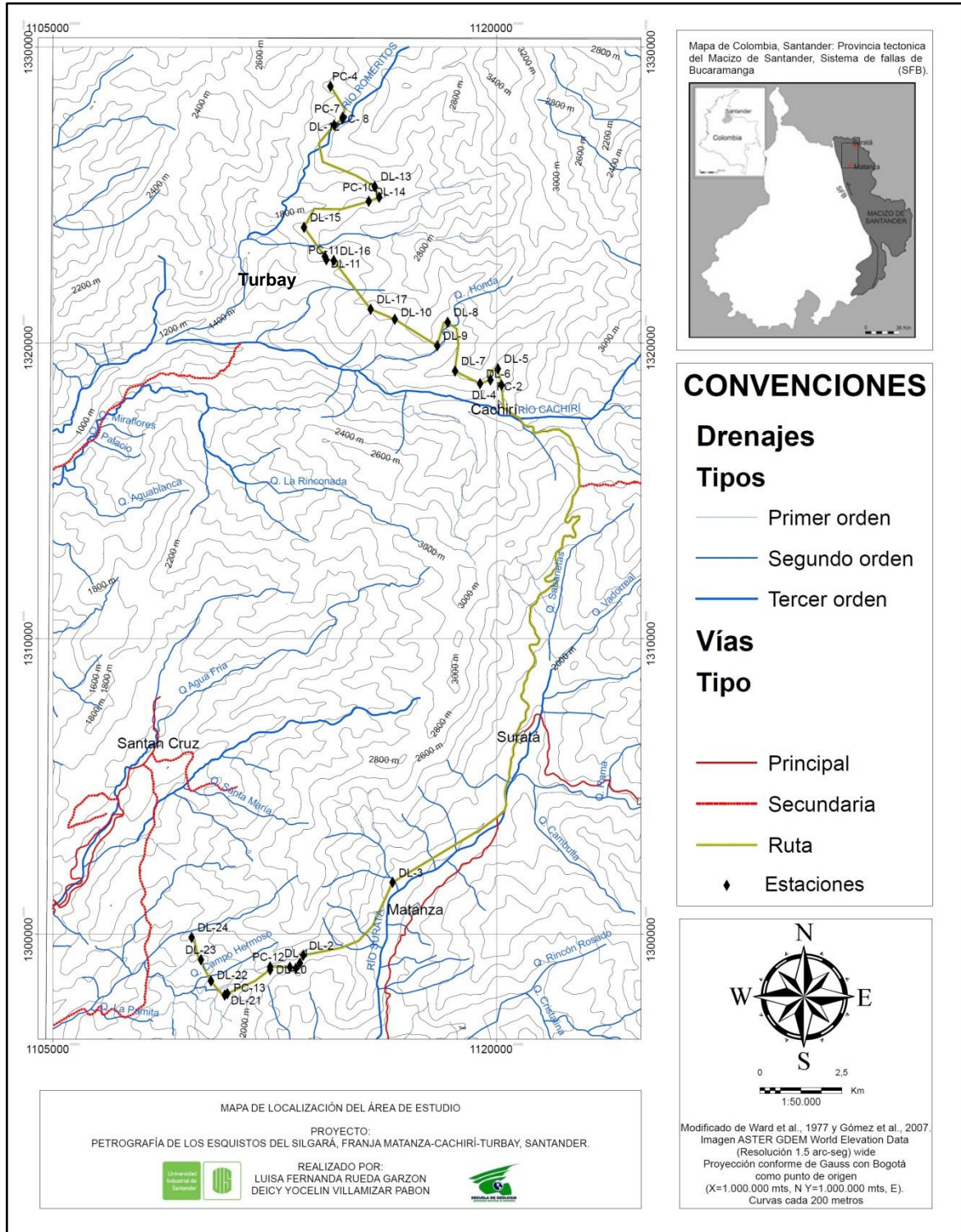
Las coordenadas geográficas correspondientes al área de estudio son:

7 15 56,23084 N            7 34 53,81206 N

73 7 48,65159 W            72 56 53,88288 W

El acceso a la zona de estudio se realiza por dos vías principales: la primera es la carretera que del norte de Bucaramanga conduce a Matanza y Suratá, recorriendo en dirección diagonal el área de trabajo hasta llegar a Turbay; la segunda vía de acceso corresponde a la carretera Rionegro-Matanza pasando por El Grama y Paujil hasta llegar a Matanza, donde se continua por la vía nombrada anteriormente, cruzando la parte suroccidental de la zona.

**Figura 1. Localización del área de estudio.** Extremo derecho mapa de Colombia-Santander, Sistema de fallas de Bucaramanga (SFB) y la Provincia tectónica del Macizo de Santander en color gris oscuro. Margen derecho zona de estudio (Matanza-Cachirí-Turbay).



Modificado de Ward et al. (1977) y Gómez et al. (2007)

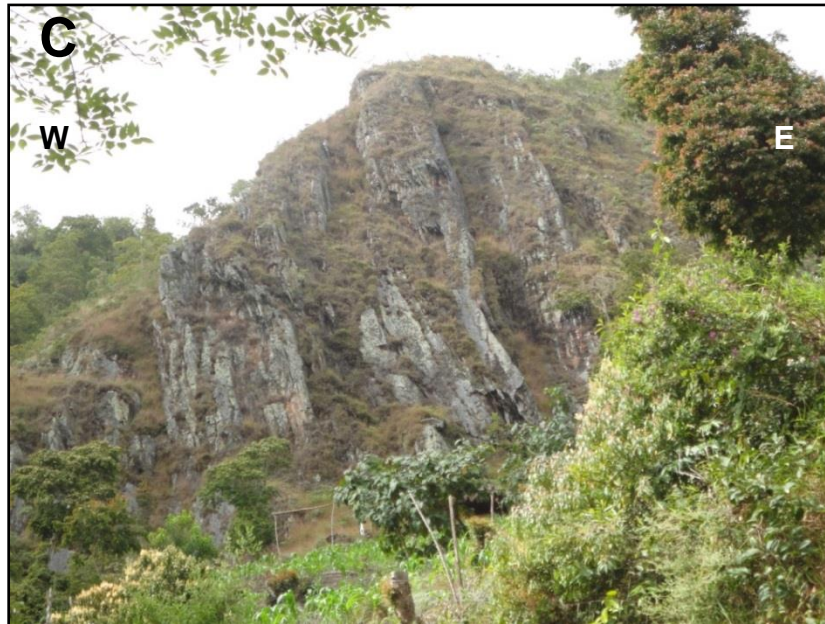
## **2.2 GEOMORFOLOGÍA**

El área de estudio se encuentra en una región montañosa, con variaciones topográficas de 1.563 a 2.400 msnm, presenta un relieve paralelo propio de rocas metamórficas con fuertes pendientes, terminaciones de cúspides en filo, valles estrechos y terrazas medias-altas; en el relieve actual también se observa la tectónica inversa característica de la región (*figura 2*).

## **2.3 DRENAJES**

La red de drenaje de la zona de estudio drena el frente oeste del Macizo de Santander presentando una forma subparalela-subdendrítica, se encuentra conformada principalmente por los ríos: Cachirí, Charta, Negro, Salamaga, Sarare, Suratá, Romeritos y Vetas, en dirección norte-sur y este-oeste; por drenajes de segundo orden como lo son las quebradas: Pirita, El Chorro del soldado, La Maravilla, El mineral, La Venta, Hato Viejo, Silgará, La Rinconada, Aguablanca, Gramalotico, El Filo, Las Abejas, Honda, entre otras; varias de ellas siguen la orientación de foliación de las rocas. También se presentan algunos drenajes de primer orden como las cañadas Río Chico, La Alquitrana, Toledo, Brisas, El cedro, etc.

**Figura 2. Fotografías del área de estudio. A-B:** Vía Cachirí-Turbay se observan facetas triangulares que marcan el trazo de las principales fallas de la zona y relieve paralelo típico de rocas metamórficas. **C:** Vía Turbay-El Mohan se presentan afloramientos de rocas metamórficas (Esquistos del Silgará) donde se puede ver cómo estas y su foliación determinan e intervienen en las formas del relieve.



## 2.4 CLIMA Y VEGETACIÓN

El área de estudio, según la zonificación climática del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012), presenta un clima que va desde templado-muy seco, pasando por frío-seco hasta muy frío-seco, estas zonas se encuentran limitadas por temperaturas que varían entre 6°C hasta 18°C. La vegetación existente en la zona se relaciona con pastos naturales, bosques naturales secundarios y vegetación de páramo donde se encuentran como especies sobresalientes las orquídeas (*Cattleya trianae* y *Epidendrum ibaguense*), el roble (*Quercus humboldtii*), gramíneas, musgos, líquenes, frailejones, helechos y algunas especies arbustivas.

Esta zona es apta para el cultivo de tomate, habichuela, yuca, plátano, maíz, arveja, frijol, papa, pepinos, apio, variedad de hortalizas y frutales como la naranja, la curuba, tomate de árbol, mora, lulo, granadilla, mora, pitahaya, entre otros.

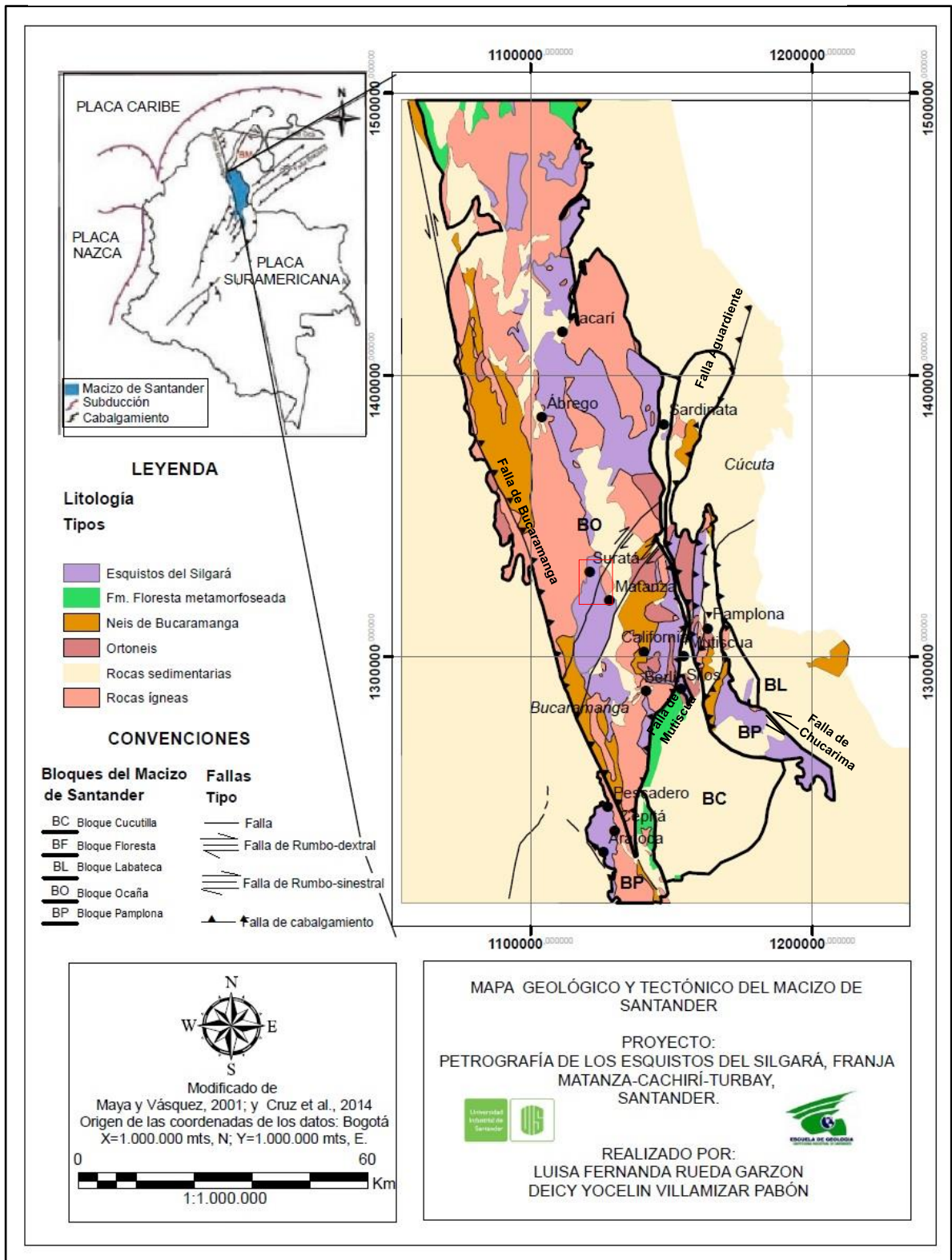
### 3. MARCO GEOLÓGICO

#### 3.1 ESTRATIGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra en la región centro-occidental del Macizo de Santander (*figura 3*), este se caracteriza por presentar rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edades Precámbricas hasta Terciarias; según Ward *et al.* (1973) el Neis de Bucaramanga es la unidad más antigua con edades radiométricas Precámbricas, compuesto principalmente de rocas metamórficas de alto grado incluyendo paraneises pelíticos, semipelíticos, arenáceos, esquistos, neises calcáreos, mármoles, neises hornbléndicos, anfibolitas y algunas zonas de migmatitas.

Suprayaciendo de manera inconforme al Neis de Bucaramanga se encuentran los Esquistos del Silgará, depositados en el Paleozoico Inferior en un ambiente extensional de talud submarino (Royero y Clavijo, 2001) y posiblemente metamorfoseada en el Ordovícico, donde la tectónica distensiva de la época cambia a compresiva por el cierre del océano lapetus y comienza la subducción corteza oceánica-corteza continental (Orogenia Quetame-Caparonensis). Se encuentra compuesta de pizarras, filitas, metalimolitas, metareniscas impuras, metawacas, metawacas guijarrosas y pequeñas cantidades de pizarra y filita calcárea (Ward *et al.* 1973). Los Esquistos del Silgará afloran como franjas, nombradas dependiendo de los municipios y corregimientos aledaños. De norte a sur son: Sardinata-Ábrego-Hacarí, Matanza-Cachirí-Turbay (zona del presente estudio, ver *figura 3*), Pamplona, Mutiscua, y Pescadero-Aratoca.

Figura 3. Mapa geológico y tectónico del Macizo de Santander. Área de estudio en rojo.



Modificado de Maya y Vásquez (2001) y Cruz et al. (2014)

Intruyendo de manera discontinua a los Esquistos del Silgará y el Neis de Bucaramanga se encuentra el protolito de la unidad Ortoneis de estructura néisica y composición félsica a intermedia (Royero y Clavijo, 2001). Esta unidad al parecer comprendería cuerpos asociados a migmatitas del Neis de Bucaramanga y cuerpos sintectónicos emplazados durante el Ordovícico (Ward *et al.*, 1973).

Suprayaciendo de manera discordante el Neis de Bucaramanga, los Esquistos del Silgará y el Ortoneis se encuentra la Formación (Fm.) Floresta, caracterizada por presentar abundancia de fósiles reconocidos como del Devónico Medio.

Las rocas ígneas aflorantes en el Macizo de Santander son diferenciadas en cinco pulsos magmáticos por Mantilla *et al.* (2009), el primero relacionado con fundidos de composición granítica de edades K-Ar  $461\pm 10$  M.a (Ward *et al.*, 1973), asociados con el Granito de Duranía; el segundo evento magmático se relaciona con la Monzonita de Onzaga de edades  $394\pm 23$  M.a (Boinet *et al.*, 1985). El tercer pulso magmático presenta una composición diorita a granítica, relacionada con la ruptura de la Pangea, estas rocas ígneas se encuentran intruyendo de manera disconforme e inconforme las unidades metamórficas anteriormente descritas, llamadas según Ward *et al.* (1973) "Grupo Plutónico de Santander" con edades Rb-Sr y U-Pb de hace 210 M.a (Goldsmith *et al.*, 1971; Polania, 1980; Dörr *et al.*, 1995). Un cuarto pulso es el responsable de diques riolíticos de diabasas con edades K-Ar de  $127\pm 3$  M.a (Ward *et al.*, 1973) y el quinto pulso se caracteriza por presentar una posible edad Re-Os de  $57\pm 10$  M.a, Finicretácico-Eoterciario según Marthur *et al.* (2003). A parte de estos pulsos se producen algunos con edades del Mioceno tardío U-Pb  $8,4\pm 2$  y  $9\pm 0,2$  M.a (Mantilla *et al.*, 2009).

Seguido al emplazamiento y levantamiento de los batolitos correspondientes al Grupo Plutónico de Santander, comienzan fuertes procesos de erosión permitiendo la sedimentación de las formaciones Jordán y Girón caracterizadas por presentar estratos rojos producto de los sedimentos provenientes de cuerpos ígneos, estos procesos erosivos continúan hasta el Cretácico, periodo en el que

tuvo lugar una ingresión marina desde el norte del antiguo territorio Colombiano (Etayo *et al.*, 1976), el comienzo de la sedimentación se representa en las formaciones Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití (Cretácico Inferior); posteriormente en el Cretácico Superior se presenta la máxima extensión de la transgresión marina y como evidencia de esta se encuentra la Fm. La Luna suprayacida por la Fm. Umir que marca el cambio de ambiente marino a continental (regresión marina).

La regresión marina continúa desde el Maastrichtiano hasta el Paleoceno permitiendo la sedimentación de sedimentos continentales. Durante el Cuaternario se originan diferentes tipos de depósitos como aluviales, glaciales, terrazas, conos de deyección, entre otros.

### **3.2 TECTÓNICA**

El Macizo de Santander se encuentra limitado al este por las fallas Aguardiente, Labateca, Chucarima y el Sistema fallado de Chitagá, entre otras, y al oeste por la Falla de Bucaramanga (*ver figura 3*). Este Macizo tiene una vergencia hacia el W y se caracteriza por la presencia de fallas de alto ángulo que se disponen alrededor de un domo central (Kammer y Mojica, 1996), estas fallas conllevan a una subdivisión de los macizos cristalinos en compartimentos los cuales están separados en el interior por fallas normales y en el borde por fallas inversas; las direcciones de orientación y foliación de los pliegues son más o menos semejantes en las formaciones metamórficas que lo componen, regionalmente estas son norte-sur y paralelas a la dirección general de la Cordillera Oriental.

De acuerdo con Clavijo (1994), Royero y Clavijo (2001), la provincia Macizo de Santander se subdivide en los bloques Floresta, Ocaña, Cucutilla, Pamplona y Labateca, la zona de estudio se encuentra dentro del Bloque Ocaña el cual está limitado al occidente por la Falla de Bucaramanga y al suroriente por las fallas de

Baraya, las Mercedes y de Mutiscua. En la región se destacan de noroccidente a suroriente la Falla Bucaramanga–Santa Marta, que es considerada el rasgo estructural más evidente y más extenso, cuya dirección aproximada es N20W, catalogada como un sistema de rumbo, pero en algunos sectores se comporta como inversa; al este de esta falla se ubica la Falla de Suratá con un rumbo predominante N15E, siguiendo el trazo del río Suratá, clasificada como una falla inversa de alto ángulo; la Falla La Cristalina de dirección norte-noroeste, pone en contacto rocas sedimentarias del Cretácico con el Ortoneis en el este y con los Esquistos del Silgará en el oeste; también se presentan otra Fallas con dirección noreste que aún no tienen denominación y se asocian con el Sistema fallado Suratá-Arboledas.

## 4. ANTECEDENTES

En el análisis del estado del arte se consideró la subdivisión por bloques del Macizo de Santander de acuerdo con Clavijo (1994), Royero y Clavijo (2001). Igualmente, se consideran las franjas donde afloran los Esquistos del Silgará. Se aclara que el termino Formación Silgará se conserva tal y como los autores lo plantean, y este sería equivalente al de Esquistos del Silgará, usado en el presente trabajo.

### 4.1 BLOQUE FLORESTA

#### 4.1.1 Franja Pescadero-Aratoca

Shafer *et al.* (1997) realizan estudios petrográficos y geoquímicos en rocas anfíbolíticas de la Formación Silgará en la franja Pescadero-Aratoca. Las rocas fueron altamente metamorfoseadas a condiciones de facies anfíbolita de presiones medias siendo la hornblenda y la plagioclasa los minerales más comunes constituyendo un 75% en las rocas. De acuerdo a la relación de campo de la Formación Silgará con las rocas intrusivas y sedimentarias del área, estos autores definen la edad como Proterozoica.

Castellanos (1999) realiza un estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca en el cual se evidencia la intercalación de cuarcitas, esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos cuarzo-micáceos, cuarcitas micáceo-feldespáticas, cuarcitas feldespático-micáceas y esquistos micáceo-cuarzosos. Mediante estudios petrográficos y químicos identifica minerales metamórficos como cuarzo, plagioclasa, microclina, biotita, muscovita, clorita, hornblenda, clinozoisita, granate, estaurolita, sillimanita, andalucita y cloritoide; químicamente determina dentro de los esquistos un grupo de afinidad félsica y

otro de afinidad máfica, para las cuarcitas solo identifica afinidad félsica. La secuencia del área desarrolla un metamorfismo de carácter zonal que comprende desde la zona del granate en facies esquistos verdes hasta la zona sillimanita-almándino-ortoclasa de la facies anfibolita.

Mantilla *et al.* (2001) realizan estudios en una estructura termal definida entre el límite de las zonas metamórficas estauroлита-distena y granate, caracterizada por presentar un espesor de 120 m y gran cantidad de venas hidrotermales (“boudinadas”) paralelas a la esquistosidad regional. Mediante métodos microtermométricos examinan inclusiones fluidas de estas venas, identificando seis pulsos hidrotermales que afectan a la Formación Silgará, en su etapa retrógrada, los cuales presentan composiciones acuosa-salina ( $H_2O+NaCl$ ) y complejas ( $H_2O+NaCl+CO_2+CH_4+N_2+H_2S?$ ).

Proponen que estas venas junto con otras estructuras de deformación, como pliegues isoclinales y recumbentes, determinan una banda de cizallamiento que favoreció la circulación de fluidos, y esta se desarrolló durante una etapa extensiva, asociada a la exhumación de la Formación Silgará.

Mantilla *et al.* (2002) estudian el proceso de rehidratación de las rocas metamórficas de la Formación Silgará a partir del análisis composicional de la clorita, en la región suroccidental del Macizo de Santander. La presencia de este mineral es interpretado como un extenso metamorfismo retrogrado. Los valores de temperatura registrados por la clorita varía entre 180 y 355°C, que comparados con las temperaturas promedio en las zonas de la biotita y el granate con un rango entre 180 y 270°C (parte superior) apuntan a una rehidratación de los niveles estructurales más profundos.

Mantilla *et al.* (2003) encuentran nuevas evidencias acerca de la presencia de una banda de cizallamiento en la secuencia metapelítica de la Formación Silgará en el sector Aratoca-Pescadero que afectó gran parte de las rocas metamórficas en las

zonas del granate y de la estauroлита-distena. La deformación generó estructuras como lineaciones, “boudines”, sombras de presión, zonas de milonización, pliegues isoclinales recumbentes, pliegues sin raíz, elongación de cristales de granate y truncamiento de su zonación química, lo cual está direccionado hacia un colapso gravitacional del paleorógeno Caledoniano.

Ríos (2001) revisa la ocurrencia, composición química y significado genético de la biotita en las rocas metapelíticas y máficas de la Formación Silgará en la región suroccidental del Macizo de Santander, durante el proceso progrado de metamorfismo en el cual la biotita ha crecido en un rango amplio de condiciones presiones-temperaturas (P-T), concluyendo que el cambio en su composición química tiende a reflejar el efecto de la química original antes que el grado de metamorfismo.

Ríos y García (2001) reportan por primera vez la ocurrencia de cianita y andalucita, junto con sillimanita fibrolítica en la misma roca aunque la sillimanita no está en equilibrio con andalucita y cianita. La coexistencia de andalucita+cianita puede interpretarse como relictos de las condiciones pre-pico de metamorfismo, preservando evidencia textural del metamorfismo a lo largo de la trayectoria P-T propuesta por García y Ríos (1999), para el Macizo de Santander; la formación de la sillimanita fibrolítica en este caso podría ocurrir a través de una reacción química que ha involucrado la descomposición de granate y biotita y, por lo tanto, el proceso de fibrolitización no debe considerarse como una transformación polimórfica.

Ríos, García y Takasu (2003) analizan la evolución tectono-metamórfica de la Formación Silgará al suroeste del Macizo de Santander mediante petrografía y química de las rocas, además de la ayuda de estudios termobarométricos que

conlleven a la conclusión de que la trayectoria de P-T de la Formación Silgará comienza con un enterramiento a una profundidad máxima (pico P), que se manifiesta en el acortamiento y engrosamiento cortical acompañado de dos etapas de deformación; después la corteza engrosada es exhumada produciendo cambios en el volumen de la roca y el pico T (metamorfismo retrogrado), sufriendo procesos de rehidratación.

Ríos *et al.* (2003) realizan una caracterización del granate y de sus elementos de deformación asociados, y modelamiento de su historia de nucleación y crecimiento en rocas pelíticas de la Formación Silgará en la región suroccidental del Macizo de Santander, estas rocas definen una zonación metamórfica de biotita, granate, granate-estaurolita y estaurolita-cianita. Esta Formación ha sido afectada por una deformación polifásica, con tres eventos de deformación sucesiva, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>. Así mismo, la unidad ha sido afectada por el desarrollo de zonas miloníticas. El análisis de distribución de tamaños de cristales (CSD) en granate revela que este creció durante un lapso de tiempo entre 1.342 y 81.511 años con tasas de nucleación que disminuyen a medida que aumenta el grado de metamorfismo.

Ríos *et al.* (2008) realizan una nueva interpretación de la zonación del granate en rocas metapelíticas de la Formación Silgará en el suroeste del Macizo de Santander; en estos granates zonados, la tasa de crecimiento varía con el tiempo y afecta la composición y la textura de los mismos. En algunos granates los patrones de zonación de Ca, Mn e Y corresponden con zonas ricas en inclusiones Vs zonas sin inclusiones, las cuales no se correlacionan con la zonación química.

Ríos *et al.* (2010) estudian los patrones de zonación de los porfidoblastos de granate en las diferentes zonas metamórficas de la Formación Silgará, mediante mapas a color de rayos X. Relacionan la distribución de Mn y Mg en estos granates con el equilibrio local de la roca y la distribución de Ca algunas veces es

controlada por el equilibrio local de la roca, pero también controla el transporte difuso entre el granate y la matriz de la roca.

#### **4.1.2 Franja Floresta-Corrales-Otengá**

Núñez (2000) afirma que las filitas y esquistos de Busbanzá se correlacionan con intercalaciones menores de metareniscas y metawaca que pertenecen a la Formación Silgará, específicamente a la faja Pamplona-Chitagá; las cuales presentan las paragénesis minerales  $Ms+Qtz+Bt$ ,  $Sill+Bt+Kfs$ ,  $Bt+Kfs+Grt$ ,  $And+Bt+Grt$ .

Maya (2001) agrupa la Formación Silgará, Filitas de Otengá, Filitas Cordieríticas de Busbanzá, Secuencia de Chitagá, y Secuencia de Cucutilla bajo la unidad AN/EVbm (Pe-Pz1) la cual cataloga como Formación Silgará y afirma que se observa una importante exposición de estas rocas en el Macizo de Floresta en los alrededores de las poblaciones de Floresta-Corrales-Otengá.

## **4.2 BLOQUE OCAÑA**

### **4.2.1 Franja Sardinata-Ábrego-Hacarí**

En el cuadrángulo G-12, ABREGO. Arias y Vargas (1978) realizan una cartografía a escala 1:100.000 en el departamento de Norte de Santander y Santander al noroeste de la ciudad de Bucaramanga en el área Abrego, definiendo en su mayor parte rocas metamórficas de las formaciones Bucaramanga y Silgará. Adicional a esto, realizaron, un muestreo geoquímico regional y un estudio petrográfico en 520 secciones delgadas. En esta área, la Formación Silgará está compuesta por filitas, esquistos micáceos, cuarcitas micáceas y neises cuarcítico-micáceos, en menor

proporción se encuentran pizarras carbonosas, esquistos cuarzo sericíticos, metaconglomerados y metaliditas.

Niño (2012) realiza un estudio acerca del metamorfismo de la Formación Silgará en el sector Sardinata-Ábrego-Hacarí en la región norte del Macizo de Santander. Mediante estudios petrográficos define 15 litotipos que corresponden a pizarras, pizarras grafitosas, pizarras grafitosas con andalucita, filitas, esquistos sillimaníticos con granate, esquistos micáceos, esquistos micáceos con cordierita y andalucita, esquistos muscovíticos con turmalina y andalucita, cuarcitas, cuarcitas micáceas, metareniscas, meta-conglomerados, metawacas y meta-gabro. El metamorfismo alcanzó facies metamórficas desde la zona de la clorita de la facies esquistos verdes a la zona sillimanita-almandino-ortoclasa de la facies anfibolita. Se reporta también un metamorfismo de contacto, de grado medio y facie piroxeno-corneana, sobreimpuesto al metamorfismo regional.

#### **4.2.2 Franja Mutiscua**

Campos (1998) realiza un estudio mineralógico y petrográfico de las metamorfitas al occidente de Mutiscua pertenecientes a la Formación Silgará intruidas por el Ortoneis las cuales fueron metamorfoseadas en condiciones de la facies anfibolita y las rocas de la unidad Ortoneis en las zonas estaurolita-distena y sillimanita-almandina-ortoclasa de la facies anfibolita. Establece las siguientes variedades litológicas: en la Formación Silgará, esquisto cuarzo-feldespático, esquisto micáceo-cuarzoso, esquisto feldespático-micáceo-cuarzoso, esquisto feldespático-micáceo, esquisto micáceo, cuarcita feldespática, cuarcita micácea-feldespática, cuarcita micácea con andalucita, cuarcita muscovítica con biotita, cuarcita feldespática-micácea, cuarcita bifeldespática con clinozoisita y mármol; en la Unidad de Ortoneis, neis leucocrático, neis biotítico-hornbléndico y neis cuarzo-bifeldespático. Mediante espectroscopia infrarroja determinó variaciones en la

composición química de la biotita, muscovita, hornblenda y granate de acuerdo con el metamorfismo y la composición química de la roca.

Barragán y Montenegro (1999) caracterizan y estudian la evolución del metamorfismo en el área comprendida entre los municipios de Vetas y Mutiscua. En esta zona afloran rocas del Neis de Bucaramanga metamorfizadas en facies anfibolita, zona silimanita-almandina-ortoclasa; Ortoneis de condiciones medias, zona estaurolita-cianita y cordierita-andalucita y la Formación Silgará respectivamente. En los esquistos de la Formación Silgará, se identificaron las paragénesis  $Qtz+Pl+Bt_1$  y  $Bt_2+Sil+Ms$ , las cuales determinan la presencia de una lineación  $L_{SO}$ , reconocida por los minerales precinemáticos que fueron rotados por un proceso de deformación  $D_{s1}$  (primera deformación del Silgará), que desarrolló una superficie de esquistosidad  $S_{s1}$ , definida por la orientación preferencial de la biotita, posteriormente hay una recristalización de silimanita definiendo una deformación rotacional no coaxial  $D_{s2}$ , desarrollando una nueva esquistosidad  $S_{s2}$ . También registran un metamorfismo retrogrado evidenciado por un enriquecimiento siliceo-alumínico “bleaching” que modifica la estructura de los neises en esquistos muscovíticos, al igual reconocen sericitización y epidotización de plagioclasa, caolinitización de ortoclasa y cloritización de la biotita.

García y Campos (2000) estudian la composición química y mineralógica de las biotitas metamórficas en el sector central de Macizo de Santander, mediante microscopía óptica, microsonda electrónica, espectroscopia infrarroja (EIR) y difracción de rayos x (DRX), con lo que obtienen que las biotitas estudiadas corresponden a la serie eastonita-siderofilita y annita. La Formación Silgará en esta zona comprende rocas pelíticas, rocas semipelíticas, rocas máficas y carbonatadas, en la cual se reconocieron dos generaciones de biotita, cuyo contenido de Fe en metapelitas se incrementa al aumentar el grado de metamorfismo de la roca huésped.

Arenas (2004) integra análisis estratigráficos, petrográficos, de microtectónica, química mineral y quimioestratigrafía para estudiar las metamorfitas de la Formación Silgará con el objetivo de conocer, establecer y demostrar las condiciones a las que la Formación Silgará estuvo sometida; como el metamorfismo dinamothermal de presión intermedia de facies epidota-anfibolita hasta anfibolita alta con aumento en el grado metamórfico, a través de las zonas de granate, estaurolita y cianita para las rocas pelíticas, y las zonas de anfíbol cálcico, zoisita y diópsido en rocas calcosilicatadas, en dirección W-SW; la temperatura y presión del metamorfismo varía entre 500-600°C y de 4.1 a 7.2 Kbares, describiendo una trayectoria horaria típica de metamorfismo de colisión continental. Confirma una deformación dúctil con cizalla sinistral y tres eventos deformativos presentados por las rocas. Reconoce la relación entre la Fm. Silgará y el Ortoneis con lo que infiere que el metamorfismo ocurrió en el Ordovícico Inferior. En cuanto al ambiente y la sedimentación del protolito, sugiere que se depositó de manera autóctona sobre un margen continental establecido en el borde NW de Gondwana durante el Véndico-Cámbrico Inferior. Concluye correlacionando la historia geológica de la Formación Silgará, con las metamorfitas del Macizo de Floresta y de la Cordillera Central de Colombia.

García *et al.* (2005) examinan las paragénesis minerales, reacciones metamórficas y condiciones de P-T de las rocas metamórficas de la región central del Macizo de Santander, concluyendo que el metamorfismo ocurrió bajo condiciones de alta temperatura y presión intermedia (metamorfismo tipo Barroviano), con el desarrollo de tres zonas metamórficas: estaurolita-cianita, silimanita y migmatita. Las condiciones de presión y temperatura estimadas están en el rango de 5.0-9.5 Kbares y 630-727°C, la trayectoria horaria de P-T sugiere un modelo de colisión para esta región.

Ávila y Gómez (2006) realizan un estudio de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación Silgará en el área de Mutiscua, Norte de Santander, donde reportan la primera ocurrencia de un exoskarn de reacción. Estas zonas de reacción muestran un contacto gradacional desde rocas pelíticas que contienen granate hasta los mármoles o rocas silíceo-carbonatadas. Las rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional isoquímico.

Caviedes y Gomez (2006) realizan el estudio petrogenético de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará al occidente de Mutiscua, donde a partir de microtermometría establecen cuatro eventos hidrotermales. Determinan que el proceso que favoreció la formación de cianita en las venas de cuarzo fue un metamorfismo dinámico térmico generado por la mezcla de minerales de flujo hidrotermal con minerales de la roca encajante.

Castellanos *et al.* (2008) examinan las texturas y asociaciones minerales para establecer las etapas de evolución del metamorfismo, mediante análisis de diagramas de fases, y grillas de P-T para estudiar la secuencia de asociaciones minerales y la historia de reacción en las rocas pelíticas de la Formación Silgará en la región central del Macizo de Santander, en el área de Mutiscua y parte de Vetas. En cuanto a la evolución tectono-metamórfica la Formación Silgará se caracteriza por un acortamiento y engrosamiento cortical durante una colisión continental con un enterramiento cortical alcanzando presiones de 6.5 Kbares, equivalente a 27 km de profundidad, seguido por una recristalización de asociaciones con temperaturas más bajas.

#### 4.2.3 Franja Matanza-Cachirí-Turbay

Ward *et al.* (1973) realizan una cartografía geológica donde definen la sección tipo de la Formación Silgará en la Quebrada del mismo nombre como “una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas que consta de pizarras, filitas, meta-limonitas, metareniscas impuras, metawacas y metawacas guijarrosas con menos cantidades de pizarras y filitas calcáreas” la cual se encuentra discordante con el Neis de Bucaramanga y con el Ortoneis presenta un contacto intrusivo. Reconocen que las rocas de la Formación Silgará se encuentran dentro de la facies esquistos verdes alta y anfibolita baja, presentando una cristalización metamórfica continua y por etapas cambiantes de presión y temperatura.

Dentro del bloque Ocaña, los Esquistos del Silgará también afloran en las franjas Silos-Babega y Berlín. La franja Silos-Babega se compone principalmente de rocas carbonatadas y esquistos, mientras la franja Berlín presenta intercalaciones de esquistos granatíferos y cuarcitas con granate en facies esquistos verdes. Ward *et al.*, 1973, describe las rocas del área Berlín-Silos-Mutiscua como cuarcitas y en menor cantidad conglomerado de cantos rodados de cuarzo, esquisto cuarzo-muscovítico con granate, estaurolita o silimanita, esquisto gris con granate-biotita-muscovita y cantidades menores de estratos calcosilicatados y mármol. Además afirma que la franja del sur de Berlín es algo semejante a la de Mutiscua.

## 4.3 BLOQUE PAMPLONA

### 4.3.1 Franja Pamplona

Según Ward *et al.* (1973) esta faja consiste principalmente de esquistos micáceos con intercalaciones menores de metareniscas y metawacas, además afirman que las rocas presentan un grado metamórfico medio a alto.

Gutiérrez (2001) realiza la petrografía y mineralogía de la Formación Silgará y el Ortoneis en el área de Pamplona, Norte de Santander; determinando que la Formación Silgará consiste en esquistos pelíticos (cuarzomicáceos y cuarzosos) y esquistos semipelíticos, con paragénesis principal: Ms+Sill+Bt+Grt+Qtz. Determina las condiciones de metamorfismo por geotermobarometría, la cual refleja un aumento progresivo de las condiciones de P-T. Las temperaturas establecidas se encuentran en el rango de 650-750°C. Microestructuralmente observa tres eventos deformacionales principales, los dos primeros de tipo dinámico y el tercero de tipo estático. Establece el protolito de la Formación Silgará como rocas argiláceas que dieron lugar a metapelitas y rocas arcósicas que a su vez dieron lugar a esquistos semipelíticos y a composiciones cuarzofeldespáticas. Concluye que el metamorfismo que afectó esta zona es de tipo orogénico de colisión donde se alcanzaron las condiciones de la facies anfibolita.

Se han realizado numerosos estudios con el objetivo de datar los Esquistos del Silgará, a pesar de esto, su edad sigue estando en duda, algunas de las edades propuestas hasta el momento han sido planteadas por autores como:

Goldsmith *et al.* (1971) realizan dataciones por los métodos K-Ar y Rb-Sr para 15 muestras de rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander. Dentro del muestreo se recolectaron filitas correspondientes a la Formación Silgará, las cuales mostraron edades de 195 a 221±8M.a, que no reflejan la edad real del

metamorfismo, sino de un evento termal. Estas edades no son tenidas en cuenta, pues según la relación estratigráfica con estratos fosilíferos Devónicos no metamorfoseados, el metamorfismo de la Fm. Silgará posiblemente tuvo lugar hace 410-450 M.a.

Silva *et al.* (2004) analizan las variaciones isotópicas de C en mármoles bien preservados de los terrenos tectonoestratigráficos Cajamarca-Valdivia y Chicamocha, tomaron 200 muestras en total de las cuales 90 corresponden a mármoles de la Fm. Silgará. Los resultados obtenidos para esta formación muestran variaciones quimiestratigráficas  $\delta^{13}\text{C}$  -7 y +4,6‰<sub>PDB</sub>, sugiriendo una sedimentación pelágica a lo largo de un estrecho marino localizado al NW de Gondwana durante el Ediacáran Tardío-Cámbrico Temprano.

Van Der Lelij (2013) construye un nuevo modelo de evolución tectónica para la franja noroeste de Gondwana estudiando los remanentes de los diferentes ambientes tectónicos hospedados en las rocas del Macizo de Santander y la Cordillera de Mérida a partir de análisis petrográficos, edades U-Pb, trazas de fisión en zircones y apatitos, dataciones Lu-Hf y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . Con estos análisis identifica: 1. Edades  $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$  de 438,7±5,9-439,2±4,7 M.a en el basamento del Macizo de Santander, este evento metamórfico Barroviano es asociado a un magmatismo de arco finalizado aproximadamente hace 415 M.a. 2. Después de un período de extensión en el margen occidental de Pangea entre ~240 M.a y ~215 M.a, se restableció un arco magmático en la Cordillera de Mérida y el Macizo de Santander (~212 M.a). Este arco migró progresivamente hacia el oeste, y después ~196 M.a emigró en la Cordillera Central de Colombia. 3. Tras el cese del magmatismo ~196 M.a, las rocas del basamento del Macizo de Santander y los Andes de Mérida disminuyeron y fueron cubiertas por las cuencas hasta el Paleoceno. 4. El Macizo de Santander comenzó la exhumación asimétricamente hacia el este de la Falla Santa Marta-Bucaramanga ~40 M.a a tasas mínimas de ~0.18 km/M.a cerca de la falla. Las tasas de exhumación pueden haber aumentado

0.18 km/M.a cerca de la falla. Las tasas de exhumación pueden haber aumentado en el tiempo antes ~17 M.a, y alcanzó ~0,5 -1,0 Km/M.a en el Mioceno. La exhumación en el Neógeno estuvo fuertemente controlada por fallas secundarias, lo que resultó en una exhumación diacrónica de bloques corticales separados, en tiempos separados.

Finalmente haciendo una comparación entre las diferentes fajas donde afloran los Esquistos del Silgará se puede inferir que hay algunas diferencias en cuanto a litologías y grado de metamorfismo, por lo tanto la descripción de la sección tipo inicialmente definida por Ward *et al.* (1973) no se ajusta a todas las franjas donde se expone; razón por la cual algunos autores como Restrepo-Pace (1997) y Amaya (2012) redefinen la nomenclatura de esta formación nombrándola Esquistos del Silgará. A esto se suma la determinación de la Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica (siglas en inglés: NACSN) en el 2010, donde define el término “Formación” para unidades litoestratigráficas, que describen como “cuerpos definidos de estratos sedimentarios, ígneos extrusivos, metasedimentarios o metavolcánicos, que se delimitan y distinguen por sus características líticas y su posición estratigráfica, se apegan a la ley de superposición, son estratificados y de forma tabular”, esta definición no se ajusta a las descripciones realizadas por diferentes autores para los Esquisto del Silgará y tampoco a lo observado en el desarrollo del presente trabajo de investigación, razón por la cual se define como una unidad litodémica, que según la NACSN hacen parte los cuerpos definidos de rocas intrusivas, altamente deformadas y/o metamorfoseadas, que se distingue y delimita por las características de la roca y no obedece la ley de superposición.

Restrepo-Pace *et al.* (1997) afirman que el contacto entre el Neis de Bucaramanga y los Esquistos del Silgará no es claro y se encuentra definido por la isógrada de la biotita-sillimanita. También obtiene edades de plutones sincinemáticos emplazados dentro de los esquistos que estos fueron

formados durante el evento metamórfico regional Caparonensis del Ordovícico tardío.

Amaya (2012) caracteriza petrográfica y petrológicamente el Neis de Bucaramanga en el Macizo de Santander, e introduce una nueva nomenclatura para nombrar a la Formación Silgará, citándola como Esquistos del Silgará; menciona la relación entre estas dos formaciones y sus diferencias litológicas estableciendo que la Formación Silgará presenta una litología más cuarcítica incluyendo pizarras, filitas y esquistos de afinidad calcárea y pelítica con estratificación delgada, mientras que el Neis de Bucaramanga es de estratificación más gruesa y consiste de rocas néisicas con altos contenidos de biotita y hornblenda.

El análisis bibliográfico indica que en la zona del presente estudio, no se han realizado investigaciones detalladas; los trabajos realizados son de tipo cartográfico regional, quedando muchos interrogantes acerca de las características petrográficas de las litologías aflorantes y el grado de metamorfismo de las mismas.

## **5. METODOLOGÍA**

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado en cinco etapas, descritas a continuación:

### **5.1 ETAPA 1: PRE-CAMPO**

Se inicia con el planteamiento del problema, con el cual se logra delimitar el área de estudio, se procede a la búsqueda y análisis de material bibliográfico relacionado con los Esquistos del Silgara; esta información se obtiene mediante la consulta de artículos en revistas científicas (Ej. Boletín de Geología, Journal of South American Earth Sciences, Earth and Planetary Science Letters, U.S. Geological Survey), bases de datos (Science Direct, Springer y Scopus), informes, mapas y memorias de mapas del Servicio Geológico Colombiano - INGEOMINAS (Memoria Explicativa, cuadrángulo H-12, H-13, G-12), Trabajos de grado de la Universidad Industrial de Santander, Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Ginebra, mapas topográficos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (97-IV-D, 98-III-C, 109-II-B, 109-II-D, 109-IV-D, 110-I-A, 110-I-C, 110-III-A, escala 1:25.000) e imágenes landsat tomadas de Google Earth.

### **5.2 ETAPA 2: TRABAJO DE CAMPO**

En la primera fase de esta etapa se realizó el reconocimiento del área, vías de acceso y principales rasgos fisiográficos de la región, logrando identificar las principales transversas a recorrer, la primera en dirección noreste hasta el corregimiento de Cachirí en donde cambia de dirección a noroeste hasta los corregimientos de Turbay, Las Abejas y El Mohan. La segunda transversa se trazó vía Matanza-El Paujil.

Durante el trabajo de campo se realizó la toma de muestras de manera sistemática. Las muestras se marcaron con las iniciales DL seguidas del número de la estación y el número de la muestra (Ej. DL 2-1). En la toma de muestras se consideraron los cambios litológicos, texturales, mineralógicos y estructurales de los afloramientos de los Esquistos del Silgará, teniendo en cuenta que el grado de meteorización de las muestras fuera el menor. En total el trabajo de campo duró 5 días y se recolectaron 34 muestras.

### **5.3 ETAPA 3: TRABAJO DE LABORATORIO**

#### **5.3.1 Preparación de muestras y elaboración de secciones delgadas**

En esta fase se realizó el lavado de las muestras recolectadas en la etapa de campo, seguido de la selección de 16 muestras debido a su interés textural y composicional, para la elaboración de 12 secciones delgadas y 4 secciones delgadas pulidas, el corte de las rocas se realiza perpendicular a la foliación y paralelo a la lineación. Las secciones delgadas pulidas fueron usadas en análisis petrográficos. (*Tabla 1*).

#### **5.3.2 Análisis petrográfico**

Durante esta fase se realizan las descripciones macroscópicas de las 34 muestras colectadas en campo usando estereomicroscopios Carl Zeiss en el laboratorio de Estereomicroscopía de la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander (Anexo A), también se elaboraron las descripciones microscópicas de 16 secciones delgadas (Anexo B) empleando el microscopio triocular de luz transmitida marca LEICA, modelo DM750P, en el laboratorio del Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada – GIGBA de la Escuela de Geología

de la Universidad Industrial de Santander, Sede Guatiguará. Las microfotografías fueron tomadas empleando el sistema de fotografía digital MC120HD, acoplado al microscopio LEICA DM750P.

El análisis petrográfico se inició con la clasificación de las rocas, la cual se basa en la propuesta del Servicio Geológico Británico (siglas en inglés: BGS) en 1999; al tener los tipos de rocas metamórficas se determinaron los nombres de cada una de estas según los parámetros establecidos por la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas (siglas en inglés, SCMR) en el 2004. Para las descripciones de las rocas se tuvo en cuenta los términos texturales usados en Yardley *et al.* (1997), la estructura y morfología de las foliaciones según la clasificación de Passchier and Trouw (2005); además se especificó la composición mineralógica, asociaciones, paragénesis minerales (usando las abreviaturas propuestas por la SCMR en el 2007, *tabla 2*) y algunas características sobresalientes.

### **5.3.3 Química Mineral**

La composición química semicuantitativa de los principales minerales fue determinada en el microscopio electrónico de barrido (SEM) marca Quanta 650 FEG ambiental, mediante la sonda EDAX serie SDD Apollo X, utilizando la técnica EDS (Espectrometría de dispersión de energía de rayos X), en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Universidad Industrial de Santander, Parque Tecnológico de Guatiguará. Se estudiaron mediante este método las muestras DL 3-1A, DL 5-1, DL 8-1 y DL 11-4.

MUESTRA	Análisis macroscópico	Petrografía de luz transmitida	Química mineral
DL 2-1	X		
DL 2-2	X		
DL 2-3	X	X	
DL 2-4	X	X	
DL 2-5	X	X	
DL 3-1	X		
DL 3-1A	X	X	X
DL 4-1	X	X	
DL 4-2	X	X	
DL 4-3	X		
DL 5-1	X	X	X
DL 6-1	X		
DL 6-2	X		
DL 7-1	X		
DL 7-2	X		
DL 8-1	X	X	X
DL 9-1	X		
DL 10-1	X		
DL 10-2	X	X	
DL 10-3	X		
DL 11-1	X		
DL 11-2	X		
DL 11-3	X		
DL 11-4	X	X	X
DL 12-1	X		
DL 12-2	X	X	
DL 13-1	X	X	
DL 13-2	X		
DL 16-1	X	X	
DL 17-1	X		
DL 17-2	X		
DL 18-1	X	X	
DL 20-1	X		
DL 21-1	X	X	
DL 21-2	X		
DL 22-1	X	X	

**Tabla 1. Listado de muestras y análisis realizados.**

**Tabla 2. Abreviaturas minerales usadas.**

Ab	Albita	Gr	Grafito
Alm	Almandino	Grt	Granate
And	Andalucita	Ilm	Ilmenita
An	Anortita	Mag	Magnetita
Ap	Apatito	Mca	Mica
Bt	Biotita	Wmca	Mica Blanca
Kln	Caolinita	Mc	Microclina
Chl	Clorita	Op	Minerales Opacos
Qtz	Cuarzo	Ms	Muscovita
Ep	Epidota	Pl	Plagioclasa
Sme	Esmectita	Rt	Rutilo
Fsp	Feldespato	Ser	Sericita
Kfs	Feldespato Potásico	Ttn	Titanita
Phg	Fengita	Zrn	Zircón

*Tomado de SCMR, 2007.*

#### **5.4 ETAPA 4: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En esta etapa se realizaron las interpretaciones y análisis de la información obtenida en la etapa de campo y laboratorio con el objetivo de estimar cualitativamente los diferentes tipos de metamorfismo y las condiciones de presión-temperatura a las que fueron sometidos los Esquistos del Silgará en el área de estudio.

#### **5.5 ETAPA 5: ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL**

Al iniciar el desarrollo de esta etapa se realizó una revisión, estudio y selección de la información obtenida en campo y en los diferentes análisis de laboratorio continuando con la elaboración de mapas, figuras, tablas, correlaciones, digitalización y edición de mapas y columnas, que permiten redactar, elaborar y editar el informe final.

## 6. GEOLOGÍA LOCAL

### 6.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio afloran rocas metamórficas correspondientes al Neis de Bucaramanga, los Esquistos del Silgará (sobre la cual se hizo énfasis por ser el objeto de estudio del presente trabajo de investigación) y el Ortoneis; rocas ígneas pertenecientes al Plutón de Páramo Rico, Cuarzomonzonita de La Corcova, Batolito de Rionegro, cuarzomonzonita-granito, tonalita de grano fino y rocas sedimentarias del Triásico-Jurásico, Cretácico y depósitos cuaternarios (*ver figura 4*).

**Neis de Bucaramanga:** Se presenta como una franja en la parte suroccidental del área de estudio, se encuentra limitado por una faja de los Esquistos del Silgará al este en contacto aproximado, no definido hasta el momento; al oeste se encuentra en contacto intrusivo con un cuerpo granodiorítico biotítico porfirítico gris. En el presente trabajo se observan afloramientos de esta unidad al sur de la zona, en la vía Matanza-Paujil-Rionegro, estos consisten de espesos paquetes de neises con bandas oscuras de biotita.

Existen varias diferencias litológicas entre el Neis de Bucaramanga y los Esquistos del Silgará, pues los Esquistos del Silgará tienden a ser de afinidad más cuarcítica y de estratificación delgada a laminada, con abundantes filitas limosas ricas en cuarzo, filitas cuarzo-muscovíticas pobres en biotita y esquistos, particularmente en la parte superior; mientras el Neis de Bucaramanga es de estratificación más gruesa y rocas con contenidos abundantes de biotita y hornblenda, sin embargo entre estas dos unidades existe gran semejanza en los tipos de roca, particularmente en lo que pueda ser la parte inferior del Silgará y la parte superior del Neis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973); aunque estudios como el de Arenas (2004) han permitido encontrar evidencias estratigráficas, geocronológicas e isotópicas suficientes como para interpretar que estas dos unidades no

corresponden a un mismo evento metamórfico, pues el Neis ya se encontraba “adosado” al borde noroccidental de Gondwana al final del Proterozoico.

**Esquistos del Silgará:** Se presentan como una faja extensa y alargada de norte a sur con una ligera tendencia hacia el noreste, al sur de Matanza aflora otra franja de menor prolongación que al igual que la zona norte de este municipio se presenta como afloramientos intruidos por rocas ígneas de edades Triásico-Jurásicas. Se encuentra limitada al oeste en contacto intrusivo por el Batolito de Rionegro y la granodiorita gris del mismo, y en contacto fallado inferido en determinados lugares con el Neis de Bucaramanga; al este se encuentran limitados por los Batolitos de Rionegro y Mogotes, además de la Falla Suratá que los pone en contacto con la Formación Jordán, Girón y las unidades sedimentarias del Cretácico.

Según Ward *et al.* (1973) los Esquistos del Silgará son de edad pre-Devónica Media, colocándolos tentativamente en el Paleozoico más bajo, probablemente de edad equivalente al Ordoviciano o al Cámbrico.

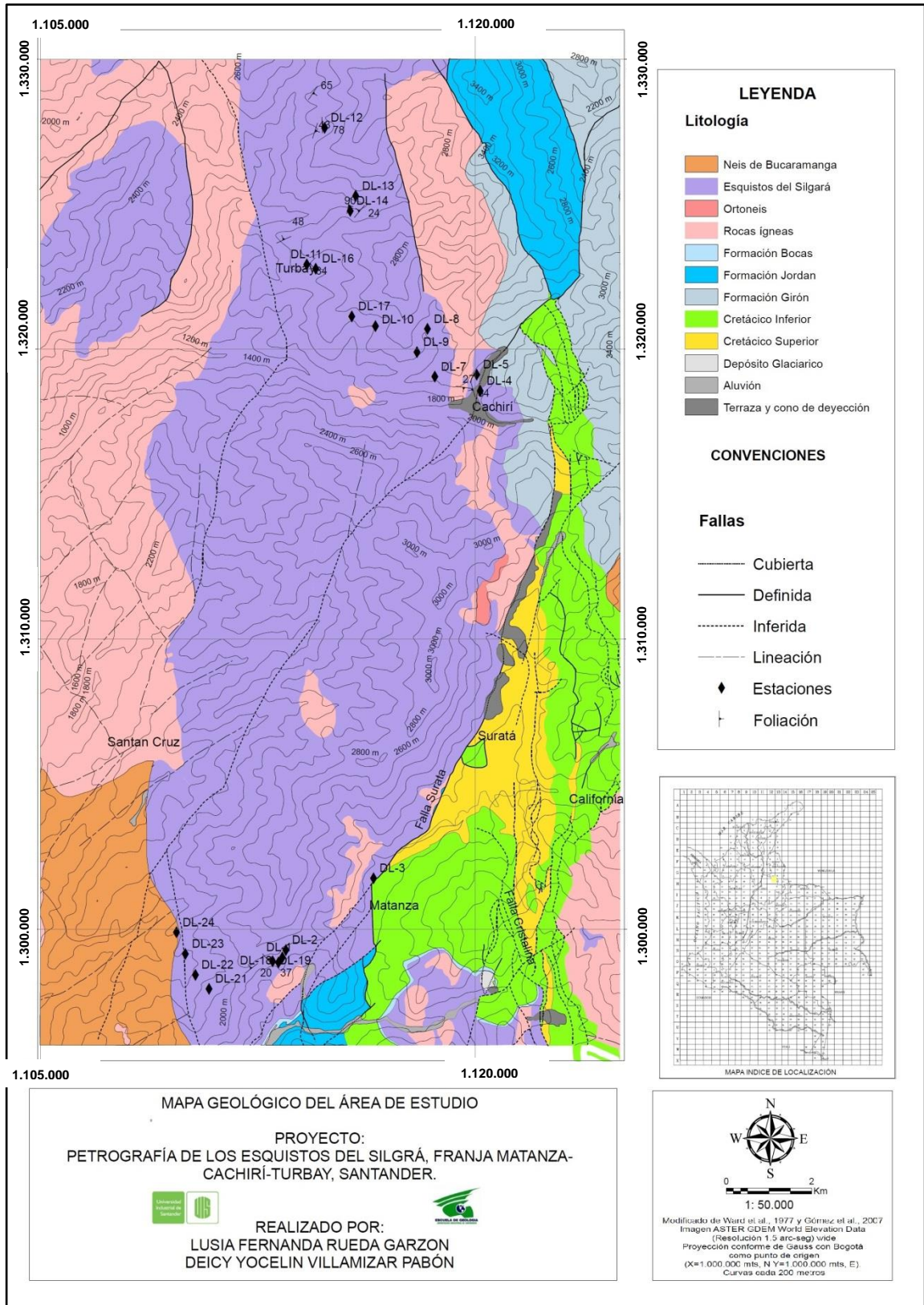
La franja de estudio se divide en dos zonas: la parte norte, conformada por los corregimientos: Cachirí, Turbay y la parte sur ubicada hacia el suroeste de Matanza, abarcando el corregimiento del Paujil. Esta secuencia se caracteriza principalmente por la alternancia de rocas metamórficas pelíticas y semipelíticas.

Ascendiendo topográficamente por la carretera de Cachirí-Turbay se encuentran afloramientos de rocas metamórficas muy laminadas en capas considerablemente finas de menos de 1 mm, de color grisáceo, con estructura esquistosa-microplegada, conformados por esquistos cuarzo-muscovíticos, algunos milonitizados, evidenciando la presencia de la falla Suratá y algunas locales; más adelante en el mismo sector se encuentran las rocas de grado metamórfico más

alto alcanzado en la franja Matanza-Cachirí-Turbay, denotado por la presencia de porfidoblástos de biotita y de granate de 1 a 2 mm, esta secuencia es cortada por rocas tonalíticas milonitizadas pertenecientes al Batolito de Mogotes; sobre la Quebrada Honda también se observa un ligero aumento del metamorfismo evidenciado en los esquistos muscovítico-cuarzosos y cuarzo-muscovíticos con presencia de biotita ya que presentan un aumento en el tamaño de grano (de muy fino-fino a medio) y porfidoblástos de cuarzo hasta de 4 mm. A unos pocos metros del corregimiento de Turbay en la Quebrada el Chorro del Soldado se exhiben esquistos cuarzo-muscovíticos con porfidoblástos de magnetita con tamaños de 0,5 mm, descendiendo por la misma Quebrada se encuentran metawacas masivas con estructura bandeada. En la parte septentrional de esta franja, vía Turbay-Las Abejas-El Mohan las rocas pelíticas representadas por los esquistos cuarzo-muscovíticos toman un mayor espesor que las rocas semipelíticas y continúan presentando porfidoblastos de magnetita, pero disminuye su tamaño hacia el norte de 0,5 mm hasta 0,25 mm; estas rocas presentan una variedad de clorita diferente a la encontrada hacia el sur de Turbay, pues estas muestran características como sus colores de interferencia, contenido de magnesio y tamaño de grano, que evidencian un posible aumento en el grado de metamorfismo.

A diferencia del sector norte del área de estudio, en la zona sur (Matanza-El Paujil), las intercalaciones de rocas pelíticas y semipelíticas presentan espesores similares; se observan afloramientos de filitas color verde-grisáceo plegadas y deformadas probablemente por la acción de la Falla Suratá, más adelante se presentan intercalaciones de esquistos cuarzo-muscovíticos, muscovíticos-cuarzosos y metawacas, algunos esquistos muscovítico-cuarzosos se encuentran afectados por deformación cataclástica; en cercanías al Paujil los esquistos muscovítico-cuarzosos y las metawacas contienen biotita como mineral indicador de metamorfismo. Esta secuencia es intruída por tonalitas milonitizadas.

Figura 4. Mapa geológico del área de estudio.



Modificado de Ward et al. (1977) y Gómez et al. (2007)

**Ortoneis:** Se presenta como una pequeña franja en dirección noreste en la sección centro-oriental del área de estudio, al norte del Municipio de Suratá, se encuentra en contacto intrusivo-discordante con los Esquistos del Silgará, formando silos y diques, al igual que con cuerpos intrusivos tonalíticos de grano fino y el Plutón de Páramo Rico.

Las rocas que conforman el Ortoneis presentan una composición variante de granito a tonalita y diorita, en el sector de interés se encuentra un neis alaskítico rosado pálido a crema, de grano fino, con lineación y foliación marcadas, concordantes al igual que su metamorfismo con los Esquistos del Silgará, indicando una extensión regional del metamorfismo (Ward *et al.*, 1973).

**Tonalita de grano fino:** Aflora en el sector centro-occidental de la zona de estudio intruyendo los Esquistos del Silgará, el Ortoneis, el Plutón de Páramo Rico y cuerpos cuarzomonzonítico-graníticos. Litológicamente se compone en mayor proporción de plagioclasa y hornblenda, con textura generalmente no foliada. Se presenta como diques o stocks pequeños.

**Tonalita y Granodiorita del Plutón de Páramo Rico:** Se presenta como una franja alargada en dirección norte-sur, en el extremo sur oriental del área de estudio. Se encuentra en contacto intrusivo y en algunas zonas fallado con las unidades del Cretácico Inferior junto con la Cuarzomonzonita de la Corcova. Litológicamente se compone de tonalita gris de grano medio a grueso y granodiorita predominante en la zona de estudio (Ward *et al.*, 1973).

**Cuarzomonzonita de La Corcova (Gris):** En la zona de estudio aflora en dirección noroeste, al sureste del área se encuentra en contacto con el Plutón de Páramo Rico y al oeste con las unidades Cretácicas.

**Cuerpos intrusivos cuarzomonzonítico-graníticos:** Se encuentran intruyendo a los Esquistos del Silgará y al Neis de Bucaramanga; las cuales se

localizan en la parte central de la zona y sus afloramientos están raramente distribuidos en el área de estudio.

Generalmente su composición es cuarzomonzonítica-biotítica (Ward *et al.*, 1973) pero en cercanías a Cachirí es de composición más tonalítica, con un color blanco amarillento, de textura fanerítica, compuesta principalmente por cuarzo, feldespato, muscovita y biotita; se encuentra milonitizado.

**Batolito de Rionegro:** Se presenta como una franja en dirección noroeste, en contacto aproximado hacia el este con los Esquistos del Silgará. Está compuesto de cuarzomonzonita y granito rosado pálido en su parte norte. Cerca de Rionegro y al sur de Santa Cruz, la granodiorita es gris a gris rosada. La parte sur de este batolito está compuesta de granodiorita con cantidades apreciables de tonalita (Ward *et al.*, 1973).

**Granodiorita gris del Batolito de Rionegro:** Aflora como una franja con tendencia noreste en las localidades de la Reforma y Rionegro, pero de la Reforma hacia Santa Cruz toma una dirección noreste. Está limitado hacia el este por los Esquistos del Silgará y la mayor parte de este cuerpo está en contacto con el Neis de Bucaramanga. Hacia el sur del Batolito de Rionegro, consiste de granodiorita gris, generalmente porfírica y de tonalita subordinada equigranular (Ward *et al.*, 1973).

**Formación Bocas:** Se localiza en la parte sur de la zona de estudio, aflorando como pequeñas franjas que se encuentran en contacto discontinuo-fallado con los Esquistos del Silgará, los cuerpos intrusivos cuarzomonzonítico-graníticos y las unidades del Cretácico Inferior. Presenta una litología característica de limolitas oscuras, shales y arcillolitas.

**Formación Jordan:** Se presenta como una franja en dirección noreste a lo largo del río Suratá, al oeste se encuentra en contacto con los Esquistos del Silgará y al

este en contacto fallado con las formaciones de edad Cretácica. Litológicamente esta Formación se compone de areniscas de grano fino y limolitas de color marrón rojizo muy uniformes (Ward *et al.*, 1973).

**Formación Girón:** Se presenta al noreste de Cachirí donde se encuentra en contacto aproximado con los Esquistos del Silgará, los afloramientos encontrados en este trabajo se ubican por la carretera Matanza-Cachirí, esta área es atravesada por una franja angosta de unidades Cretácicas en dirección, más o menos, norte-sur limitados por la Falla de Suratá.

La Fm. Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso, de color rojizo, generalmente con interestratificaciones de limolitas y lodolitas de apariencia maciza. (Ward *et al.*, 1973).

**Unidades Cretácicas:** Hacia el oriente de la zona de estudio, afloran las unidades pertenecientes al Cretácico asociadas a fallamiento de rumbo. Estas unidades no son el objetivo principal del proyecto, por lo que no se entrara en detalle sobre estas.

Las unidades del Cretácico Inferior se encuentran en el sector oriental de la zona de estudio, en contacto fallado con los Esquistos del Silgará, en contacto intrusivo con los cuerpos ígneos de edad Triásico-Jurásica y en contacto neto con algunas unidades del Cretácico Inferior. Estas corresponden a las formaciones Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití.

Las unidades del Cretácico Superior (Fm. La Luna y Fm. Umir) también se restringen a la zona nororiental del área de estudio, encontrándose en contacto fallado y discontinuo con los Esquistos del Silgará y en contacto neto y fallado con algunas unidades del Cretácico Inferior.

**Depósitos glaciales, aluviales y de terraza:** Estos depósitos son pocos en la zona de estudio, se encuentran depósitos glaciales en el sector oriental del

área, los depósitos aluviales se asocian con drenajes como la Quebrada Sabanetas y Agua Fría; los depósitos de terraza y conos de deyección se restringen a los sectores aledaños a las zonas de falla como el sistema de fallas Suratá-Arboledas.

## **6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Las características estructurales de la zona de estudio corresponden a las fallas y a la foliación de las rocas. Como evidencia de falla se encuentran intrusivos y rocas pertenecientes a los Esquistos del Silgará milonitizados y afectados por cataclasis, probablemente relacionados con la Falla Suratá (*figura 4*) y con fallas locales que atraviesan el área. La Falla Bucaramanga ubicada al oeste de la zona, tiene gran influencia en la región ya que algunas de las fallas dentro del área la cortan, produciendo desplazamientos.

Las fallas principales son: la Falla Suratá y la Falla La Cristalina, se presentan otras fallas en dirección noreste casi paralelas a la Falla Suratá las cuales atraviesan la franja principal de los Esquistos del Silgará; al este de la Falla Suratá se encuentran fallas de rumbo, en la zona donde predominan las rocas Cretácicas. Hay presencia de otras fallas menores que también tienen incidencia en la zona y hacen parte del sistema fallado Suratá-Arboledas.

La foliación de las rocas pertenecientes a los Esquistos del Silgará es evidente al sur de la zona, donde presentan una dirección noroeste, noreste, mientras hacia el norte del área se presentan una serie de plegamientos, ocasionando que no exista una tendencia dominante.

## 7. PETROGRAFÍA

Las rocas encontradas en el área de estudio se dividen en dos grupos principales: rocas metamórficas pelíticas y semipelíticas, según la clasificación del Servicio Geológico Británico (siglas en inglés: BGS), publicada por Robertson (1999) donde se propone los términos psamita, semipelita y pelita de acuerdo con la composición mineralógica de las rocas, *ver tabla 3*.

**Tabla 3. Clasificación de rocas compuestas en su mayoría de cuarzo-mica-feldespatos.**

Nombre	% 'mica' <sup>1</sup>	% cuarzo+feldespatos
Psamita	0-20	80-100
Semipelita	20-40	60-80
Pelita	>40	<60

*Tomado de Robertson (1999).*

Las variedades litológicas se nombraron de acuerdo con la nomenclatura de la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas, 2004 (siglas en inglés: SCMR), de la Unión Internacional de Geociencias (<http://www.iugs.org/>, IUGS)

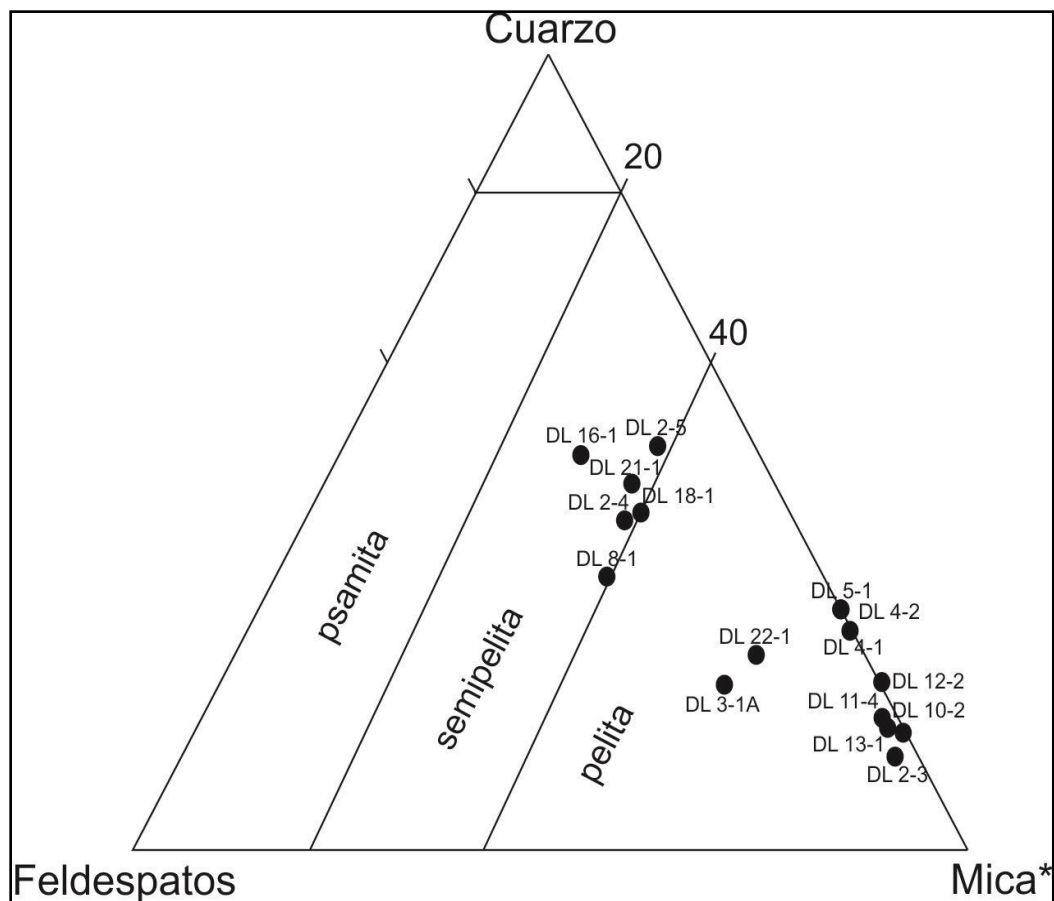
Se realizó una clasificación cuantitativa de los minerales basada en la propuesta por García (2007), que determina como minerales principales los que presentan un contenido mayor al 50% en la roca, minerales mayores aquellos cuyo contenido es más del 5% de la roca, minerales menores los que se encuentran entre porcentajes de 1 y 5%, y minerales accesorios cuyo contenido es inferior al 1% en la roca. Los tamaños de grano se clasificaron según la propuesta de la SCMR (2004), que establece los términos aplicados para tamaños de grano así: grano muy grueso (>16 mm), grano grueso (16-4 mm), grano medio (4-1 mm), grano fino (1-0,1 mm), grano muy fino (0,1-0,01 mm) y grano ultrafino (<0,001 mm).

---

<sup>1</sup>mica incluye todos los minerales a excepción del cuarzo, los feldespatos (potásico y plagioclasa) y minerales carbonatados o calcosilicatados.

En la *tabla 4*, se presenta la composición mineralógica (en %) de los Esquistos del Silgará. Estos datos se graficaron en el diagrama cuarzo-feldespato-mica<sup>1</sup> de Robertson, 1999 (*ver Figura 5*). En este diagrama se puede apreciar que las rocas de los Esquistos del Silgará en la zona de estudio corresponden a semipelitas y pelitas.

**Figura 5. Subdivisión de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y mica.**



Tomado de Robertson (1999)

Las rocas pelíticas comprenden esquistos cuarzo-muscovíticos con granate, esquistos cuarzo-muscovíticos y filitas mientras que las semipelitas consisten en esquistos muscovítico-cuarzosos y metawacas.

**Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará.**

TIPO DE ROCA	LITOTIPO	N° MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL (%)														
			Qtz	Pl	Kfs	Ms	Chl	Bt	Grt	Ep	Gr	Op	Zrn	Spn	Ap	Rt	TOTAL
PELÍTICAS	Esquistos cuarzo-muscovíticos con granate	DL 5-1	28	-	-	40	9	10	6	-	-	5	-	1	1	-	100
	Esquistos cuarzo-muscovíticos	DL 2-3	10	4	-	57	15	5	-	2	-	4	1	1	1	-	100
		DL 4-1	26	-	-	43	10	-	-	-	16	4	1	-	-	-	100
		DL 4-2	28	-	-	38	15	-	-	-	12	6	1	-	-	-	100
		DL 10-2	13	-	-	50	15	18	-	-	-	3	1	-	-	-	100
		DL 11-4	15	1	2	71	3	-	-	-	-	6	-	2	-	-	100
		DL 12-2	19	-	-	60	6	-	-	-	8	6	-	-	1	-	100
		DL 13-1	14	3	-	68	5	-	-	-	1	9	-	-	-	-	100
		DL 22-1	21	10	6	39	-	17	-	-	-	5	1	-	1	-	100
Filitas	DL 3-1A	17	9	11	35	22	-	-	-	-	3	1	1	-	1	100	
SEMIPELÍTICAS	Esquistos muscovítico-cuarzosos	DL 2-5	48	6	8	23	5	-	-	-	-	6	1	2	1	-	100
		DL 8-1	32	15	10	23	11	5	-	-	-	2	1	1	-	-	100
		DL 18-1	40	14	6	20	-	16	-	-	-	2	1	1	-	-	100
	Metawacas	DL 2-4	38	12	10	20	10	-	-	3	-	3	2	1	1	-	100
		DL 16-1	46	17	7	20	3	-	-	-	-	5	1	1	-	-	100
		DL 21-1	41	11	9	16	3	15	-	-	-	2	1	1	1	-	100

A continuación se presentan las descripciones detalladas de los litotipos encontrados.

## 7.1 ROCAS PELÍTICAS

### 7.1.1 Esquistos cuarzo-muscovíticos con granate (muestras: DL 5-1)

*Figura 6. Afloramiento de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate. Vía Cachirí-Turbay.*



Son rocas con estructura esquistosa-microplegada y color gris verdoso, presentan una dirección de foliación  $S_{n+1}$  predominante, posterior a la encontrada en las demás variedades litológicas ( $S_n$ ) y una foliación  $S_{n+2}$  definida por la aparición de granate. La foliación  $S_{n+1}$  presenta una morfología continua y en los sectores de mayor concentración de cuarzo se observa espaciada; la foliación  $S_{n+2}$  muestra

microlitones con cuarzo y granate, dominios de clivaje definidos por la muscovita y clorita, con formas grosera y anostomosada. En algunos sectores se observa plegamiento de las foliaciones y sombras de presión de cuarzo alrededor de porfidoblastos de biotita. La foliación es cortada por venas de cuarzo de tamaño mayor al cuarzo metamórfico.

Como minerales principales están la muscovita y cuarzo, mientras la biotita, clorita y granate se presentan como minerales menores.

Muscovita (8-32%): Agregados tabulares y alargados, concordantes con la dirección de foliación  $S_{n+1}$ , también se encuentra como individuos subidioblásticos de geometría tabular alargada, con tamaños de grano fino, constituyendo la matriz y orientados conforme la foliación  $S_{n+2}$ . Asociada en contacto neto con el cuarzo.

Cuarzo (7-21%): Se presentan dos variedades de cuarzo: la primera como agregados minerales, de tamaño fino formando una textura lepidogranoblástica en algunas bandas dentro de la roca, ampliamente distribuido, en contacto neto con la biotita, muscovita; la segunda variedad se encuentra como individuos minerales en forma de xenoblastos de tamaños fino a muy fino (0.04 a 0,2 mm de largo), distribuidos heterogéneamente en las rocas y concordantes con la dirección de foliación  $S_{n+1}$  y  $S_{n+2}$  de las rocas.

Clorita (3-7%): Agregados minerales tabulares, con geometría alargada concordantemente con las foliaciones  $S_{n+1}$  y  $S_{n+2}$ . A partir de esta se forma biotita.

Biotita (4-6%): Porfidoblastos subidioblásticos de aspecto tabular-elongados en la dirección de foliación  $S_{n+1}$ , algunos de los blastos presentan adelgazamiento hacia sus bordes adaptando una morfología tipo "fish". Presentan inclusiones de minerales opacos y cuarzo, sus tamaños de grano varían de fino a muy fino (0,08 hasta 0,9 mm); se encuentran junto con la muscovita y el cuarzo que conforman la matriz granolepidoblastica.

En los porfidoblastos se aprecian relictos de clorita, evidenciando la participación de clorita en la formación de biotita (*figura 8C*).

**Figura 7. Muestra de mano de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate.** Se indican los porfidoblastos de granate en la muestra DL 5-1.



Granate (5%): Individuos minerales idioblásticos prismáticos con caras hexagonales y alto relieve, muestran alta densidad de fracturas rellenas de óxidos, con tamaños de grano entre medio y fino aproximadamente de 0,55 a 1,75 mm; exhiben inclusiones de cuarzo hacia los bordes del mineral distribuidas al azar y de minerales opacos siguiendo la dirección de foliación  $S_{n+2}$  (*figura 8D*).

Los porfidoblastos de granate son sintectónicos con respecto a  $S_{n+2}$ . Los bordes de estos presentan posiblemente cloritización. La clorita, se presenta como agregados masivos alargados en los bordes de los porfidoblastos de granate y en

algunas ocasiones rellenando las fracturas más cercanas a los bordes del mineral.

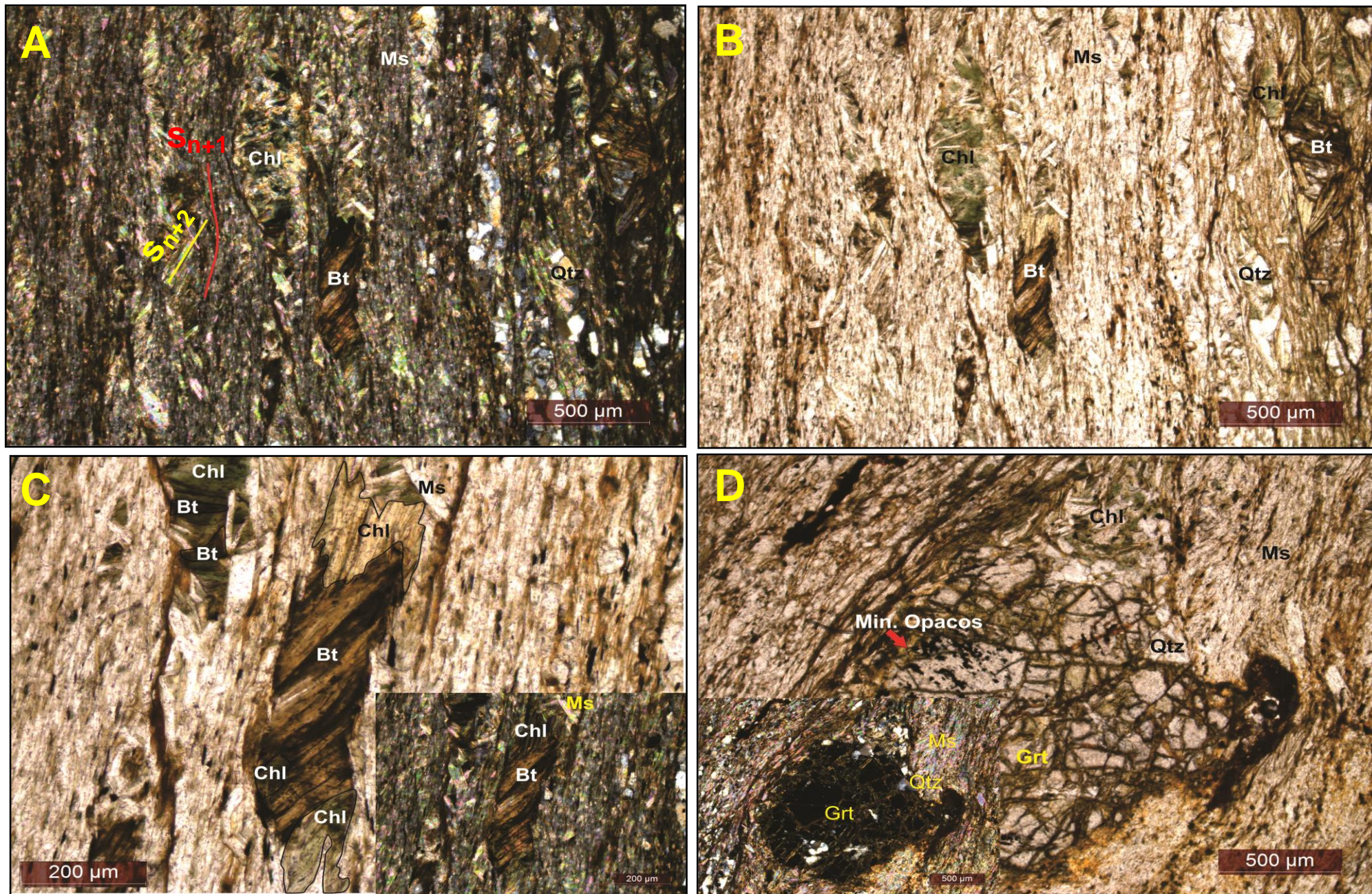
Minerales opacos (5%): Individuos alargados concordantes con la foliación  $S_{n+2}$ , con tamaños finos (aproximadamente 0,2 mm).

Apatito (1%): Individuos minerales idioblásticos con formas cubicas, presentan inclusiones de cuarzo y de minerales opacos, fracturamiento y tamaño de grano medio (aproximadamente de 1,5 mm). Los porfidoblastos son pretectónicos a la deformación que desarrolla la foliación  $S_{n+2}$  debido a que esta se presenta de manera envolvente alrededor de ellos.

Esfena (1%): Individuos minerales prismáticos-triangulares con tamaño de grano medio en torno a 1.17 mm de largo.

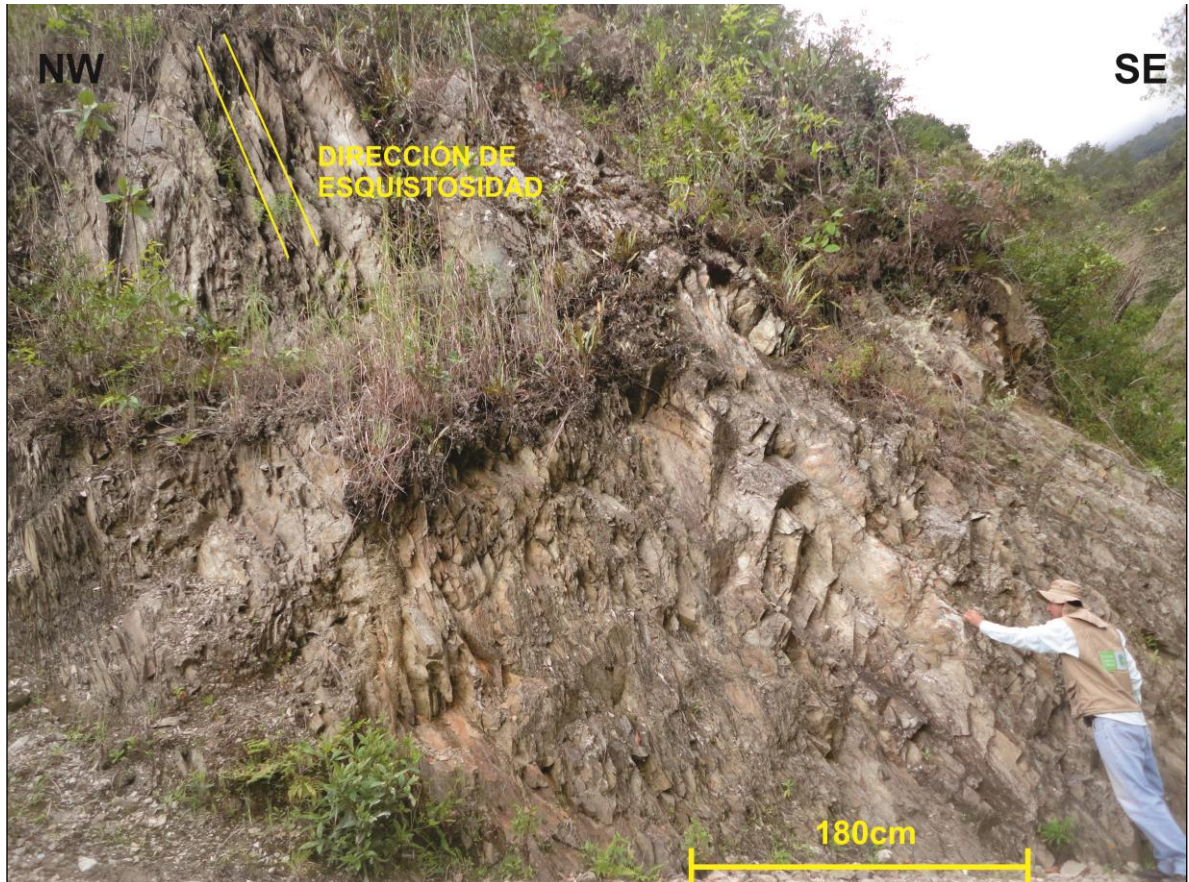
La textura predominantemente es la granolepidoblástica, pero localmente estas rocas presentan texturas porfidoblástica en matriz granolepidoblástica y lepidogranoblástica (*figura 8*).

**Figura 7. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate.** A-B: Textura porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, dirección  $S_{n+1}$  y  $S_{n+2}$ ; C: Nucleación de biotita a partir de clorita; D: Porfidoblasto de granate alterándose a clorita y orientación de minerales opacos. Muestra DL 5-1. (A) Nicoles cruzados, (B-C-D) nicoles paralelos, recuadros nicoles cruzados.



### 7.1.2 Esquistos cuarzo-muscovíticos (muestras: DL 2-3, DL 4-1, DL 4-2, DL 10-2, DL 11-4, DL 12-2, DL 13-1 y DL 22-1)

**Figura 8. Afloramiento de esquistos cuarzo-muscovíticos.** Capas verticalizadas en la vía Turbay-El Mohan.



Generalmente estas rocas exhiben una esquistosidad bien desarrollada y microplegada, presentan variaciones de color gris verdoso claro a gris verdoso oscuro o verde grisáceo (*ver figura 10*), las rocas tienen brillo sedoso debido al alto porcentaje de muscovita, su tamaño de grano es fino pero algunas rocas contienen porfidoblóstos de minerales opacos y de biotita.

Dentro de este litotipo se presentan variedades más enriquecidas en biotita (muestra DL 10-2, DL 22-1) y otras en cuarzo (muestras DL 4-1, DL 4-2).

**Figura 9. Muestra de mano de esquistos cuarzo-muscovíticos. Muestra DL 12-2.**



Se componen principalmente de los siguientes minerales:

**Muscovita (38-71%):** Se presenta como individuos subidioblásticos y como agregados cristalinos laminares alargados de manera concordante con las direcciones de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$ , en ocasiones forman bandas monominerales subparalelas a paralelas, también aparece como inclusiones en la biotita. Generalmente son de tamaño de grano muy fino y se asocia en contacto neto con el cuarzo, algunas veces con el feldespato potásico, plagioclasa, minerales opacos, grafito y clorita o biotita. Se encuentra distribuido homogéneamente en la roca.

**Cuarzo (10-28%):** Individuos xenoblásticos-subredondeados y alargados en las direcciones de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$ , otras veces se disponen al azar en la roca, su tamaño de grano es muy fino y generalmente se encuentran en contacto con la muscovita, la plagioclasa, clorita o biotita. También se presentan como agregados en bandas monominerales subparalelas, en lentes como microlitones de cuarzo y

como porfidoblastos ligeramente subredondeados. Forma sombras de presión alrededor de la clorita, la biotita y minerales opacos (*ver figura 11D*).

Este cuarzo se observa deformado en las rocas ubicadas en la vía Cachirí-Turbay (muestras DL 4-1, DL 4-2) afectadas por un metamorfismo dinámico (*ver figura 11C*) posterior al metamorfismo regional evidenciado en estas rocas por su deformación, extinción ondulosa, recristalización, molido y bordes lobulados, constituyendo una microestructura milonítica, también está formando sombras de presión alrededor de los minerales opacos (*figura 11D*).

Finalmente el cuarzo más reciente se observa relleno de venas como agregados cristalinos con bordes lobulados.

**Biotita (5-17%):** Individuos subidioblásticos con bordes irregulares, se origina a partir de la clorita (*ver figura 11G*) desde interior del mineral hacia la periferia (muestra DL-2-3 Vía Matanza-El Paujil); se presenta otra variedad de biotita la cual se encuentra posiblemente alterándose a clorita (*ver figura 11F*) de manera moderada (muestra DL-10-2 Vía Cachirí-Turbay), esta alteración se aprecia como agregados fibrosos siguiendo las trazas de exfoliación de la biotita. Los blastos de biotita se orientada según la dirección de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$  (*ver figura 11A*), presenta inclusiones de minerales opacos, muscovita y cuarzo dispuestos según la foliación  $S_n$  de la roca. Exhibe pliegues tipo “kink” (*ver figura 11E*). Se asocia con la muscovita y el cuarzo.

**Clorita (3-15%):** Se encuentra como porfidoblastos subidioblásticos a xenoblásticos, tabulares con bordes rectos y algunas veces irregulares, contiene inclusiones de minerales opacos los cuales se orientan según la foliación predominante de la roca ( $S_n$ ), además exhibe pliegues tipo “kink” alineados según  $S_{n+1}$ , en algunas rocas se aprecia la foliación  $S_{n+1}$  plegada (muestra DL 10-2). También se agrupan en agregados cristalinos laminares, dispuestos concordantemente con  $S_n$  y  $S_{n+1}$ . Su tamaño de grano varía

de muy fino a fino. En algunas de las rocas se encuentra formando biotita (muestra DL 2-3), mientras en otras (muestras DL 4-1, DL 4-2, DL 11-4, DL 12-2 y DL 13-1) se asocia en contacto neto con la muscovita, cuarzo y feldespato potásico. Está raramente distribuida en la roca.

Se encuentra una variedad posterior de clorita en venas hidrotermales de cuarzo exhibiendo un hábito escamoso.

Grafito (1-15%): Agregados muy finos alargados según la dirección de esquistosidad  $S_n$ , se observa como un aspecto polvoriento sobre la roca, asociado al cuarzo y la moscovita, se presenta raramente en la roca.

Plagioclasa (1-10%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos-subredondeados, exhiben maclado polisintético y mecánico, dispuestos concordantemente con la foliación  $S_n$  y algunas veces en la dirección  $S_{n+1}$  de la roca. Su tamaño de grano varía de muy fino a fino y se encuentra en contacto neto con la muscovita, el cuarzo y algunas veces con la clorita o biotita.

Minerales opacos (3-8%): Se presentan como individuos idioblásticos a xenoblásticos-subredondeados y como porfidoblastos con formas cúbicas y hexagonales, alargados según las direcciones de foliación  $S_n$  y  $S_{n+1}$ , también se encuentran como inclusiones en algunos blastos de biotita, estas están orientadas según las trazas de exfoliación de la misma. Presentan sombras de presión de cuarzo. Algunos de los cristales de minerales opacos se agrupan en agregados, en ocasiones presentan fracturas rellenas de mica blanca, se hallan homogéneamente distribuidos en la roca. Son post-tectónicos a la deformación que origina las dos direcciones de foliación de la roca.

Feldespato potásico (2-6%): Individuos minerales xenoblásticos subredondeados ligeramente alargados según la foliación  $S_n$  de las rocas, exhibe un aspecto sucio debido a su débil alteración a caolinita (*ver figura 10H*), la cual se presenta como

agregado microcristalino. Su tamaño de grano es fino, se encuentra en contacto neto con la muscovita y el cuarzo.

Epidota (2%): Se presenta como individuos subidiomorfos en dirección de la foliación  $S_{n+1}$  de las rocas y asociado con la biotita generada a partir de clorita.

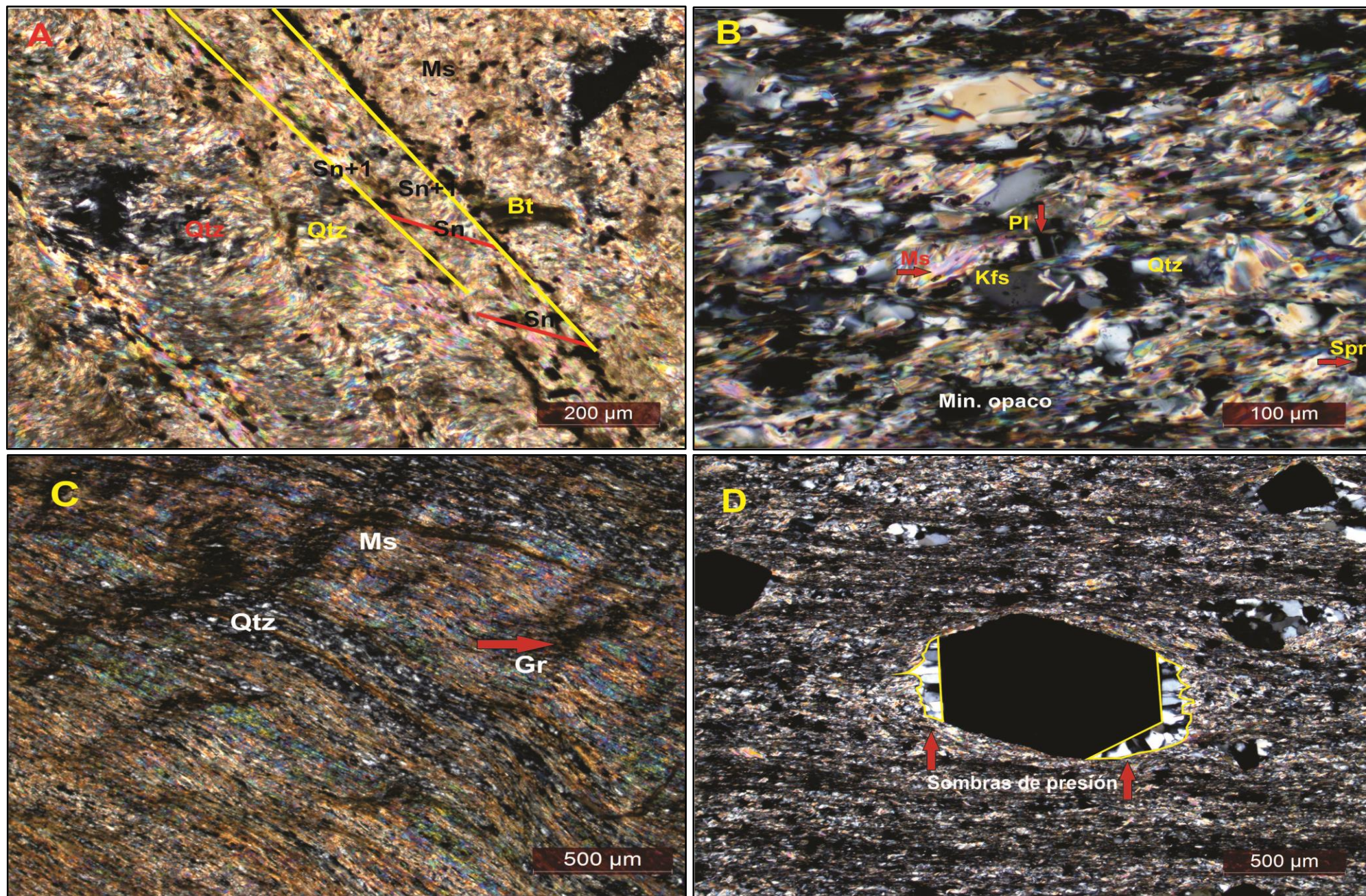
Esfena (1-2%): Individuos subidioblásticos con algunos bordes subredondeados dispuestos según la foliación  $S_n$  de las rocas, se presenta como porfidoblastos y con tamaños de grano fino, asociados con la muscovita y el cuarzo.

Zircón (1%): Cristales idioblásticos a subidioblásticos, de forma cubica o algunas veces prismáticos cortos, dispuesto concordante con la foliación  $S_n$  de la roca y con tamaños de grano muy fino. Se encuentran asociados con el cuarzo.

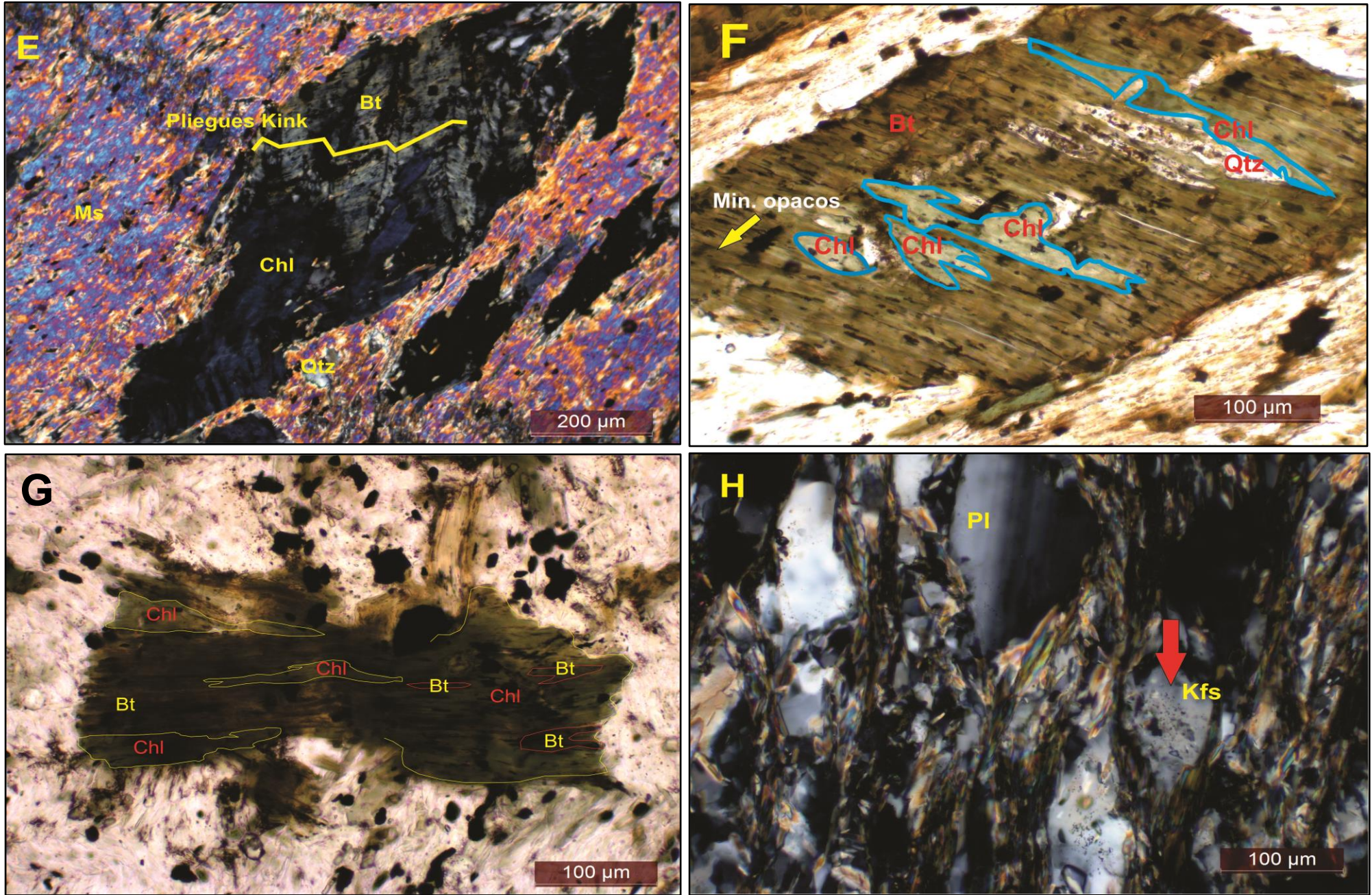
Apatito (1%): Se presenta como individuos minerales xenoblásticos, subredondeados que se encuentra en contacto con la clorita y la muscovita.

La roca presenta una textura principal granolepidoblástica y localmente se observan texturas: lepidoblástica y porfidoblástica en matriz lepidoblástica (ver *figura 11B y D*).

**Figura 10. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos.** **A:** Direcciones de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$ , muestra DL 2-3; **B:** Mineralogía predominante, muestra DL 11-4; **C:** Microestructura milonítica, muestra DL 4-1; **D:** Sombras de presión alrededor de mineral opaco, textura porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, muestra DL 11-4; (A-B-C-D) nicoles cruzados.



**Figura 11. Continuación microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos.** E: Biotita exhibiendo pliegues tipo “kink”. Obsérvese clorita metamórfica posterior a la biotita, muestra DL 10-2; F: Porfidoblásto de biotita alterado a clorita, muestra DL 10-2; G: Porfidoblásto de biotita nucleándose a partir de la clorita, muestra DL 2-3; H: Feldespatos potásico alterándose a caolinita, muestra DL-11.4. (E-H) *nicoses cruzados*, (F-G) *nicoses paralelos*.



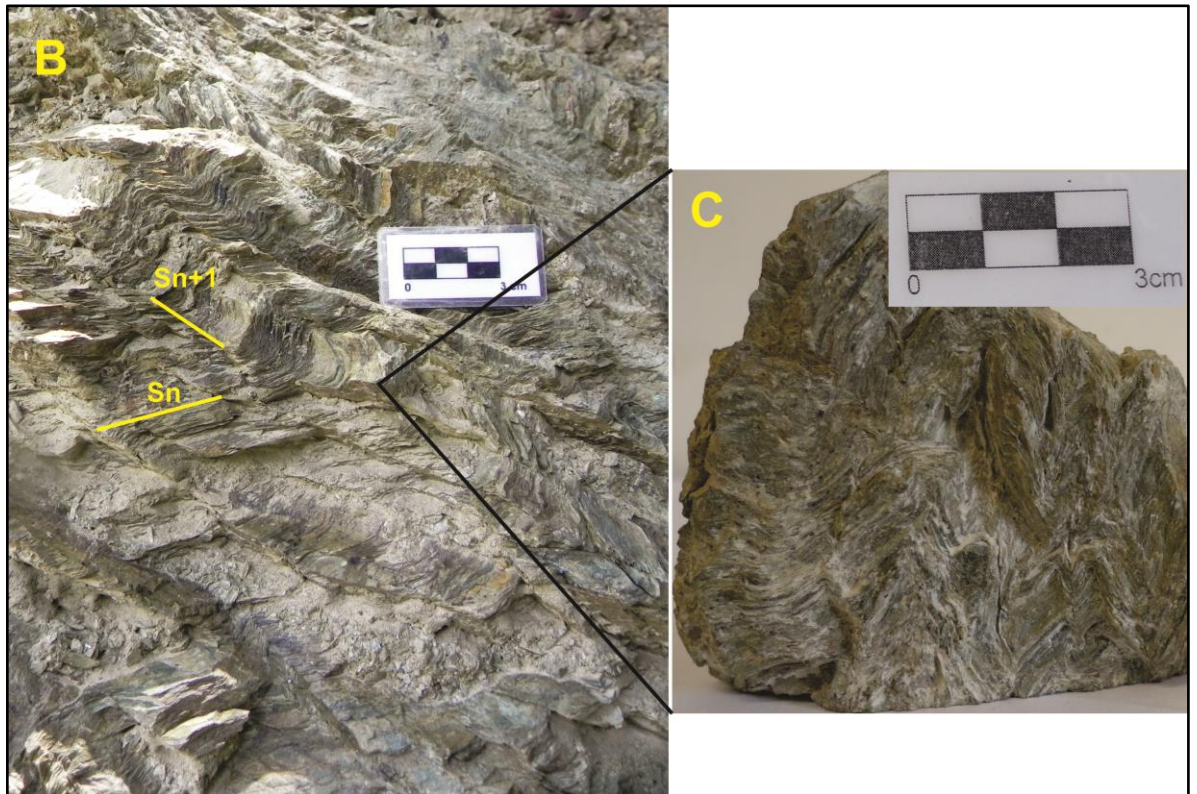
7.1.3 Filitas (muestras: DL 3-1A)

**Figura 11. Afloramiento de filitas (A).** Vía Matanza-El Pajil se observan las rocas plegadas y afectada por el fallamiento de la zona.



Rocas color verde grisáceo con estructura esquistosa microplegada bien desarrollada, de tamaño de grano muy fino, presentan dos direcciones de foliación a escala de afloramiento y microscópica:  $S_n$  y  $S_{n+1}$  (ver figura 13), debido al bajo grado de metamorfismo que presenta es posible asociar la  $S_n$  con la primera foliación desarrollada por la roca ( $S_1$ ).

**Figura 12. Detalle de afloramiento A. B:** Filitas plegadas donde se observan las dos direcciones de foliación  $S_n$  y  $S_{n+1}$ . **C:** Muestra de mano DL 3-1A.



Muscovita (35%): Se encuentra como individuos subidioblásticos con geometría tabular y como agregados laminares. Los individuos se encuentran orientados en dirección del  $S_n$ , mientras los agregados y algunos individuos subidioblásticos-lenticulares definen la dirección  $S_{n+1}$ .

Clorita (22%): Se presenta como individuos subidioblásticos a xenoblásticos y como agregados, generalmente ubicados alrededor de las venas de óxidos, de las

bandas cuarzo-feldespáticas y junto a lentes de cuarzo y feldespato potásico en hábito escamoso o en forma de gusano. Dispuesta concordantemente con las direcciones de foliación  $S_n$  y  $S_{n+1}$  (ver figura 14C).

Cuarzo (17%): Se presenta como Individuos lenticulares y como agregados en bandas poliminerales junto con el feldespato potásico y la plagioclasa, concordantes según las direcciones de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$ , algunos individuos exhiben extinción ondulosa, mientras otros presentan recristalización por rotación de granos. También se observan como venas posteriores al evento metamórfico que produce las direcciones de foliación, pero anteriores al metamorfismo dinámico. Sus bordes son irregulares, presentan fracturas rellenas de mica blanca. Se asocia con la muscovita, clorita, feldespato potásico y plagioclasa.

Feldespato potásico (11%): Ocurren como individuos finos que se encuentran en contacto con la muscovita, clorita y en algunas ocasiones con el cuarzo y plagioclasa. Los porfidoblastos muestran un grado medio de alteración a caolinita y de recristalización, presentando bordes difusos. Concordante con las dos direcciones de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$ ; se encuentra raramente distribuido en la roca.

Plagioclasa (9%): Se presenta como individuos finos y porfidoblastos, en ocasiones los porfidoblastos se encuentran fracturados y alterándose a sericita; algunos individuos exponen maclas de crecimiento y maclas mecánicas. Los blastos exhiben formas de lentes que han sido sometidos a esfuerzos deformativos y posteriormente han sufrido procesos de recristalización (figura 14D). Los límites minerales no están bien definidos, observándose en determinados blastos sombras color azul que delimitan los antiguos bordes minerales.

Minerales opacos (3%): Individuos xenoblásticos-alargados, orientados según las direcciones de esquistosidad  $S_n$  y  $S_{n+1}$ . Se encuentran en mayores concentraciones en las bandas de muscovita y clorita, siguiendo la dirección de las

mismas. El tamaño de grano predominante es muy fino.

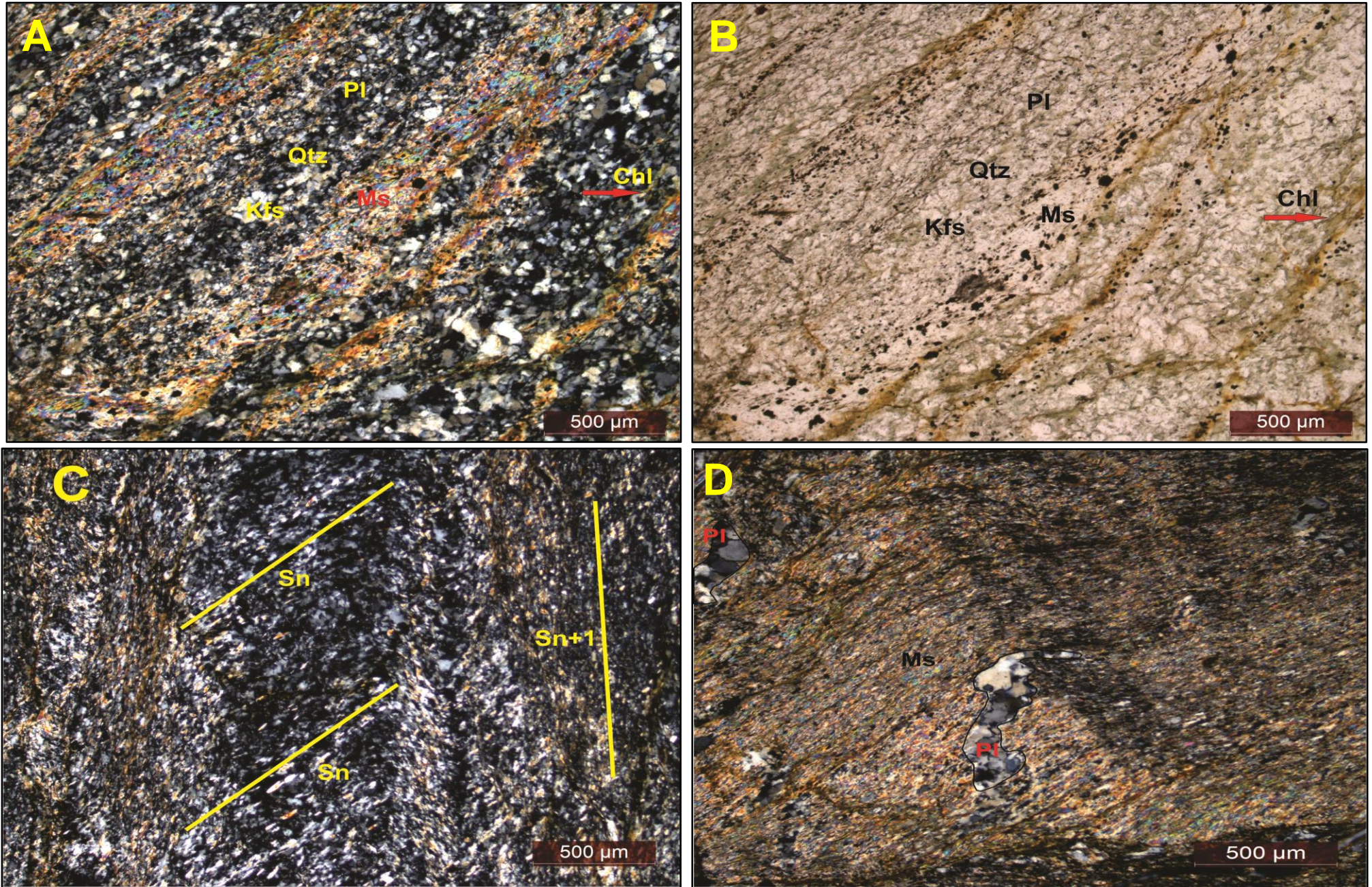
Esfena (1%): Individuos xenoblásticos-subredondeados con tamaño de grano muy fino.

Zircón (1%): Individuos idioblásticos y xenoblásticos, rectangulares y redondeados respectivamente de tamaños de grano muy fino.

Rutilo (1%): Individuos idioblásticos a subidioblásticos expuestos sobre los cristales de cuarzo y plagioclasa, con tamaños de grano ultrafinos.

La textura predominante es granolepidoblástica pero localmente se desarrollan bandas poliminerales lepidoblásticas (muscovita-clorita) y granolepidoblásticas (cuarzo-plagioclasa-feldespatos potásico), *ver figura 14 A y B*.

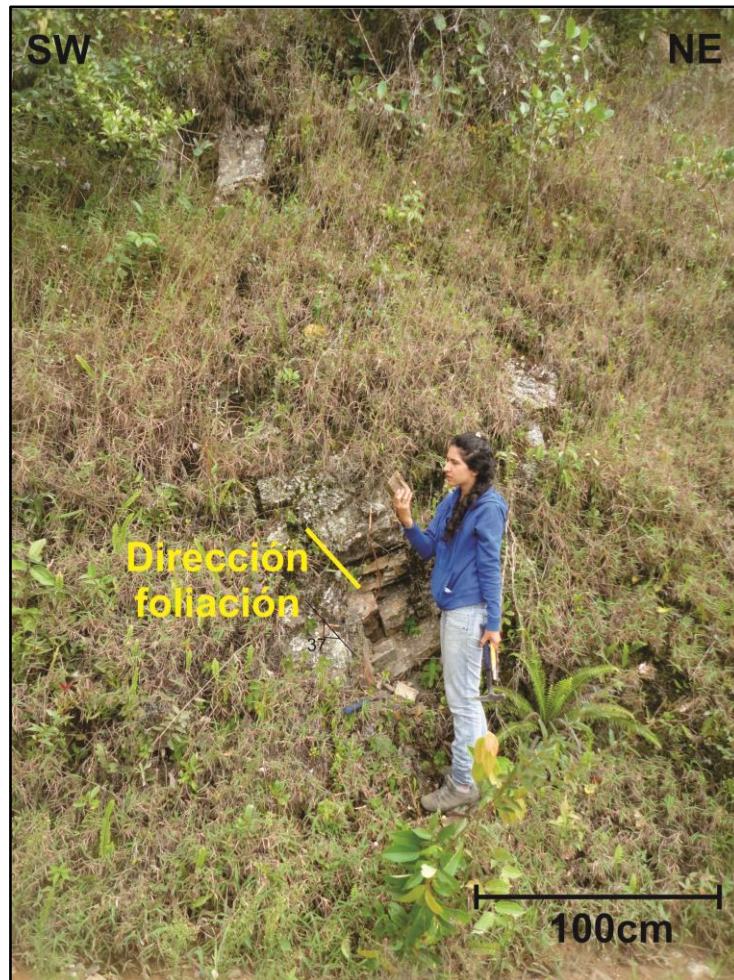
**Figura 13. Microfotografías de las filitas.** A-B: Bandas subparalelas, poliminerales, mineralogía típica de este litotipo; C: Desarrollo de dos direcciones de foliación  $S_n$  y  $S_{n+1}$ ; D: Porfidoblastos de plagioclasa deformados. Muestras DL 3-1A. (A-C-D) nicoles cruzados, (B) nicoles paralelos.



## 7.2 ROCAS SEMIPELÍTICAS

### 7.2.1 Esquistos muscovítico-cuarzosos (muestras: DL 2-5, DL 8-1, DL 18-1)

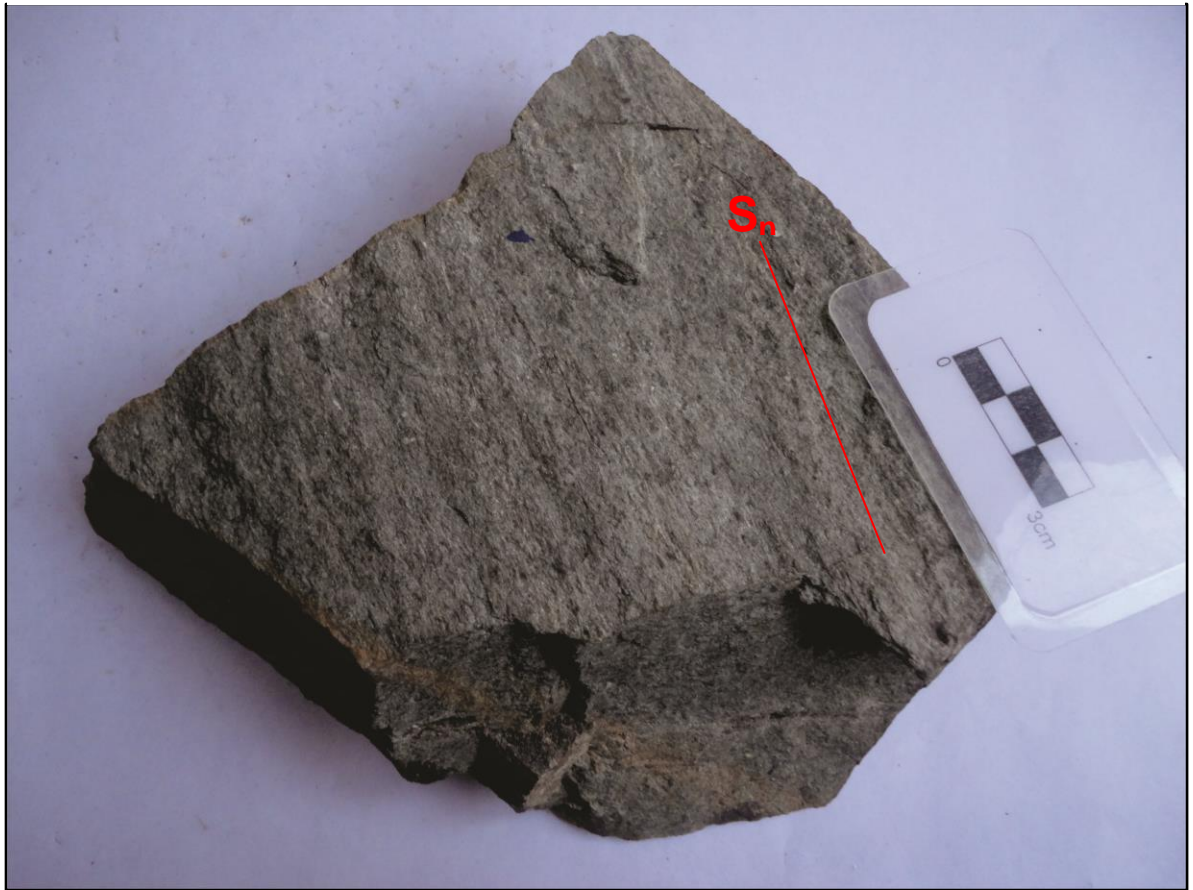
**Figura 14. Afloramiento de esquistos muscovíticos-cuarzosos.** Vía Matanza-El Paujil y Cachirí-Turbay.



Sus colores varían de oliva grisáceo, gris oliva oscuro, gris verdoso y gris (*figura 16*), presentan estructuras esquistosa-bandeada-masiva y algunas han sufrido procesos de cataclasis reflejados en la discontinuidad de las maclas en la plagioclasa, la recristalización, trituración y dislocación de los blastos (diferencia de tamaños muy marcada, *figura 17*). Se evidencia una dirección de foliación espaciada con dominios de clivaje suaves y anostomosados, a los que se les

sobreimprime un metamorfismo dinámico en algunas rocas (muestra DL 8-1). Están siendo intruidas por venas hidrotermales de biotita y algunos óxidos en dirección contraria a la foliación  $S_n$ . Se encuentran compuestas en su mayoría de cuarzo, muscovita y feldespato potásico, minerales menores como la clorita, plagioclasa, esfena y minerales opacos; el zircón y el apatito se disponen como accesorios.

**Figura 15. Muestra de mano de esquistos muscovítico-cuarzosos.** Muestra DL 18-1.



Cuarzo (35-46%): Agregados elongados siguiendo la dirección de foliación, con inclusiones de plagioclasa y biotita, también se presenta en lentes de tamaño muy fino (0.03-0.07 mm de largo), y como individuos minerales subidioblásticos a xenoblásticos de apariencia subredondeada-subangular, alargados concordantemente con la foliación  $S_n$ , con tamaños que varían entre medio, muy

fino y fino; algunos de los individuos presentan extinción ondulosa, límites recristalizados con geometría lobulada-difusa como producto de la deformación a la que fueron sometidos (muestra DL 8-1, vía Cachirí-Turbay) y bordes sinuosos definidos. Exhiben fracturas, inclusiones de mica blanca y vacuolas alineadas (los cuarzos con vacuolas no han sufrido procesos cataclásticos).

No todos los individuos de cuarzo que hacen parte de este litotipo se encuentran afectados por procesos cataclásticos.

Se encuentra en contacto neto con la muscovita y en algunas ocasiones con la plagioclasa, feldespato potásico, clorita o biotita. Distribuido ampliamente en toda la muestra.

También se observan venas de cuarzo fracturadas y deformadas con espesores aproximados de 1,26 mm, en dirección contraria a la foliación  $S_n$ , con presencia de oxidación en los bordes. Se infiere para estas un origen posterior al evento deformativo que produjo la foliación  $S_n$ , pero anterior a la deformación causada por el evento cataclástico.

Muscovita (16-20%): Agregados minerales de forma laminar-tabular que se alinean para definir la foliación  $S_n$  de la roca, también se presenta como individuos idioblásticos a subidioblásticos, de geometría tabular-lenticular y tamaños finos de 0,2-0,15 mm de largo, con bordes rectilíneos y claros. Definen la dirección  $S_n$  y conforman la matriz junto con el cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y en algunas ocasiones con la biotita o clorita, con los que a su vez se asocia en contacto neto.

Biotita (5-16%): Individuos minerales idioblásticos a subidioblásticos, tabulares, con variación de tamaños de grano medio y fino, también se presenta como agregados laminares-tabulares orientados concordantemente con la foliación  $S_n$ . En algunas rocas se encuentra haciendo parte de la matriz y en otras como

porfidoblastos con inclusiones de muscovita. Su distribución es homogénea en toda la roca y se asocia en contacto neto con la muscovita, cuarzo y en algunos sectores con la plagioclasa y feldespato potásico.

Algunos de los individuos se ven afectados por la oxidación de las rocas.

Feldespato potásico (6-10%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos con forma subredondeada y tamaño de grano medio-fino, orientados con  $S_n$  y con inclusiones de mica blanca discordantes con esta dirección; presentan fracturamiento, recristalización, trituración, desvanecimiento de las maclas de crecimiento, dislocación (*figura 17D*) y maclado mecánico. La distribución de los blastos en las rocas es heterogénea y desigual.

Se asocia en contacto neto con la muscovita, plagioclasa y en algunas ocasiones con el cuarzo, la biotita o clorita.

Los porfidoblastos están ligeramente alterados a caolín, este se presenta en agregados dispuestos como manchas sobre los feldespatos potásicos dándoles un aspecto sucio, pardo-terroso.

Plagioclasa (5-17%): Se presenta como porfidoblastos y poiquiloblastos xenoblásticos a subidioblásticos con forma subredondeada a subangular y bordes sinuosos; presentan tamaño fino a muy fino, exhiben maclas de crecimiento (polisintética y de Carlsbad), maclas mecánicas concentradas en los bordes y centro del mineral, fracturamiento y dislocación de los blastos (en algunos fragmentos dislocados se puede ver la continuación de las maclas de crecimiento).

Algunos individuos presentan evidencia de recristalización, extinción ondulante, inclusiones de óxidos y mica blanca. Su distribución en la muestra es heterogénea, se asocia en contacto neto con el cuarzo, muscovita y algunas veces con la clorita o biotita. Muestra una leve alteración de los blastos a sericita, que se presenta como agregado masivo en forma de parches sobre los cristales

proporcionándoles una apariencia terrosa. Esta sericitización es evidencia de procesos anteriores al metamorfismo.

Minerales opacos (2-6%): Individuos idioblásticos y xenoblásticos con geometría irregular y alargada, con tamaños que varían de fino a muy fino; algunos de los individuos y agregados, con geometría lenticular, se encuentran siguiendo la foliación  $S_n$ ; se presenta otra familia de minerales opacos que exhiben una relación posterior al evento deformativo principal.

Su distribución es heterogénea, encontrándose en mayores concentraciones en las bandas micáceas-cloríticas y sobre los bordes de los porfidoblastos de cuarzo y esfena. También se presenta como cristales y vetillas de óxidos concordantes y discordantes con la foliación  $S_n$ .

A partir de la alteración de estos minerales se genera rutilo.

Rutilo: Mineral secundario, formado a partir de los minerales opacos, subidioblástico de geometría rectangular y tamaños de grano muy finos.

Clorita (3-11%): Se encuentra como agregados e individuos idioblásticos a subidioblásticos, tabulares y elongados en dirección de la foliación  $S_n$ , con geometría tabular; presentan inclusiones de minerales opacos y rutilo. También se presentan como sombras de presión en los porfidoblastos de plagioclasa, feldespatos potásicos (*figura 17C*) y entre los blastos de cuarzo. En algunas rocas (muestras DL 2-5, vía Matanza-El Paujil) se presenta como mineral indicador de metamorfismo, en otras se encuentra reaccionando para formar biotita (muestras DL 8-1), mientras que en otras rocas ha reaccionado totalmente para formar biotita (muestras DL 18-1, vía Matanza-El Paujil).

Su distribución es uniforme, se encuentra en asociación neta con el cuarzo y la muscovita, en las rocas donde se presenta como mineral indicador de metamorfismo.

Rellenando las venas hidrotermales se presentan los siguientes minerales:

**Biotita (100%):** Se presenta como agregado mineral relleno de venas bifurcadas de 0.64 mm de ancho, las venas presentan geometría tabular, alargada y fibrosa; su distribución en la roca es amplia y homogénea. Exhibe alteración a clorita, esta se desarrolla en las bifurcaciones de las venas de biotita siguiendo la dirección de las mismas.

También se encuentra como minerales accesorios y asociados a la mineralogía anterior:

**Esfena (0-2%):** Individuos minerales subidioblásticos a xenomorfos con formas irregulares, de tamaños que varían de fino a muy fino.

**Zircón (1%):** Individuos minerales idioblásticos a xenoblásticos con formas que varían de piramidales-rectangulares-irregulares, presentan tamaños muy finos. Exhiben planos de fractura y leve zonación.

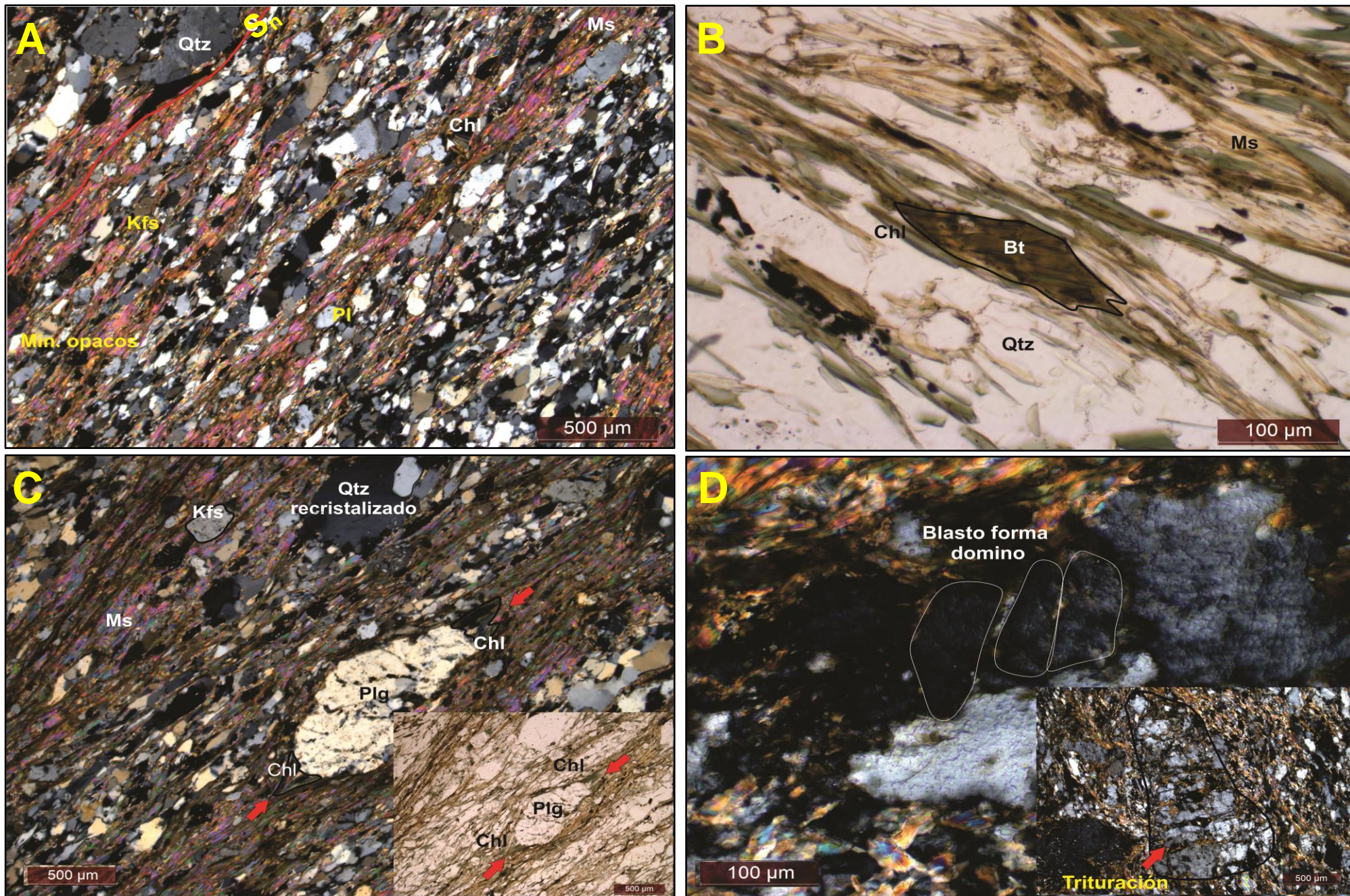
**Apatito (0-1%):** Individuos idioblásticos a subidioblásticos con geometría prismática a rectangular, de tamaños muy finos; se caracterizan por fracturamiento.

Algunas rocas se encuentran afectadas por procesos de oxidación.

La textura principal en los esquistos muscovíticos-cuarzosos es lepidogranoblástica, pero localmente se desarrollan texturas granolepidoblástica y poiquiloblástica presentando porfidoblastos de plagioclasa y feldespato potásico con inclusiones de mica blanca.

Algunas de las rocas exhiben una textura perítica (crecimientos simplectíticos de feldespato potásico y plagioclasa), además de mecanismos de recristalización dinámica (*figura 17C*) evidenciados por el cuarzo y plagioclasa.

**Figura 16. Microfotografías de esquistos muscovíticos-cuarzosos.** **A:** Textura lepidogranoblástica y foliación ( $S_n$ ), muestra DL 8-1; **B:** Nucleación de biotita a partir de clorita, muestra DL 8-1; **C:** Sombras de presión de clorita (flechas rojas) en porfidoblastos de plagioclasa, efectos de cataclasis, muestra DL 8-1; **D:** Blastos triturados y dislocados en forma de domino. muestra DL 18-1. (A-C-D) nicoles cruzados. (B) nicoles paralelos. recuadros: C nicoles paralelos. D nicoles cruzados.

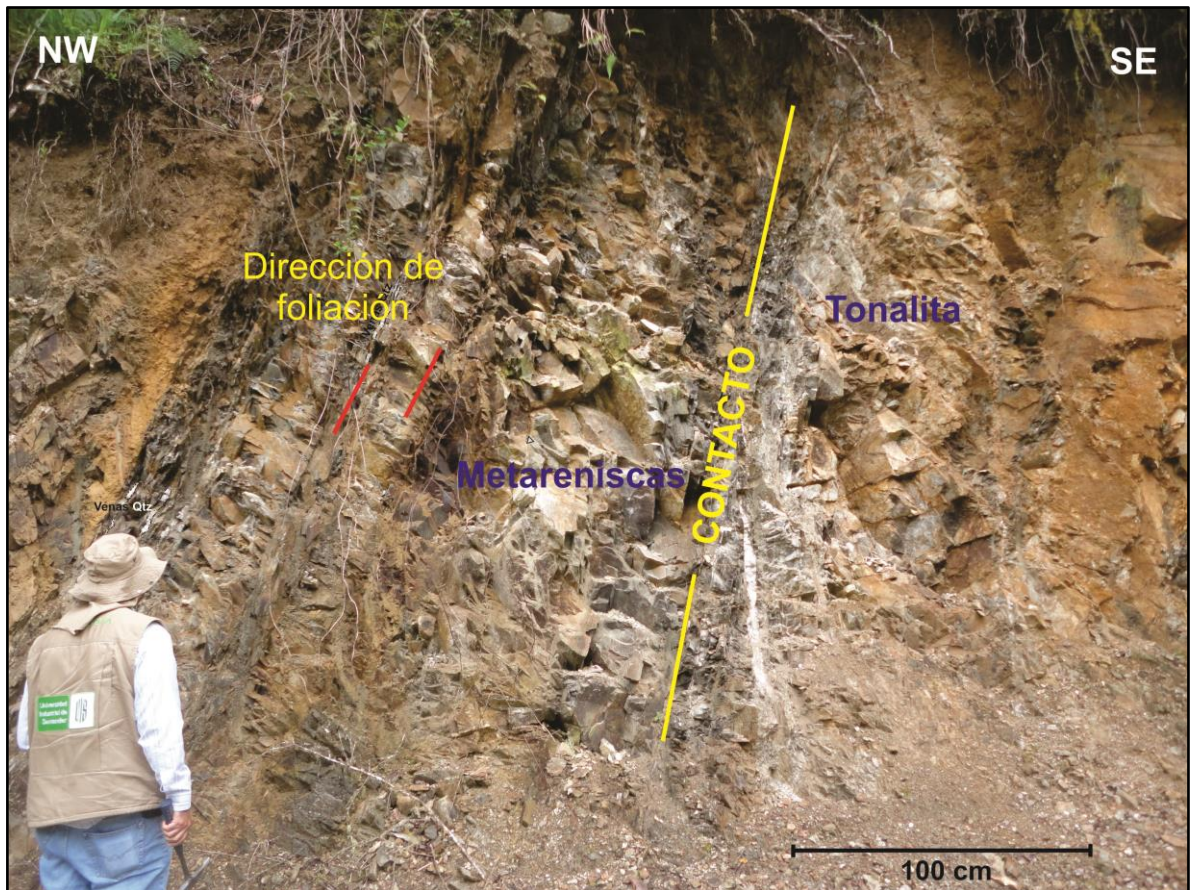


### 7.2.2 Metawacas (muestras: DL 2-4, DL 16-1, DL 21-1)

Son rocas de color gris claro a gris verdoso oscuro (*figura 19*), con estructura masiva y bandeada, presenta una foliación poco desarrollada con morfología espaciada; se evidencian algunos indicios de cataclasis, como las diferencias de tamaños de grano y trituración de feldespatos (*figura 20D*). La matriz de las rocas es de tamaño muy fino a ultrafino con muscovita y sericita como componentes principales.

También presentan venillas de óxidos, clorita y esfena, que cambian su orientación en los dominios de muscovita.

**Figura 17. Afloramiento de metawacas.** Vía Matanza-El Paujil, también afloran vía Las Abejas-Turbay y Turbay-Cachirí.



Los minerales que componen la roca son los siguientes:

**Cuarzo (38-46%):** Se presenta como agregados lenticulares e individuos xenoblásticos y alargados en dirección de la foliación  $S_n$ , de tamaño fino y bordes irregulares y lobulados. En algunos sectores se presentan como mosaicos granulares exhibiendo extinción ondulosa, en ocasiones como poiquiloblastos con inclusiones de muscovita y clorita. Se observan diferencias en los tamaños de granos y algunas evidencias de recristalización; están ampliamente distribuidos en la roca.

Se asocia en contacto neto con la muscovita, plagioclasa, feldespato potásico y en algunas ocasiones con la clorita o biotita.

**Muscovita (16-20%):** Agregados e individuos subidioblásticos orientados conforme a la foliación  $S_n$ , con tamaños que van de medio a fino, geometría tabular alargada y radial, bordes continuos y se encuentra como principal componente de la matriz. Se encuentra en contacto neto con el cuarzo, algunas veces con la plagioclasa, feldespato potásico, clorita o biotita. Su distribución es homogénea en toda la roca.

**Plagioclasa (10-17%):** Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, de geometría subredondeada alargada, algunas veces concordantes con la foliación  $S_n$ , con bordes irregulares, exhiben maclas mecánicas y de crecimiento (polisintética) en algunos casos discontinuas, presentan tamaños de grano fino. Algunos individuos exhiben recristalización y sericitización. Se encuentran en contacto neto con cuarzo, muscovita y ocasionalmente con biotita; presentan una distribución sectorizada en las rocas. La sericita se encuentra como agregados hojosos muy finos que otorgan un aspecto sucio-terroso a los cristales de plagioclasa. Esta alteración no hace parte de un metamorfismo retrogrado, sino de procesos anteriores al metamorfismo regional.

**Figura 18. Muestra de mano de metawacas. Muestra DL 2-4.**



Clorita (3-10%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, elongados concordantemente con la foliación  $S_n$ , con geometría tabular y bordes irregulares; también se presenta como inclusiones dentro del cuarzo. Se encuentran distribuidos de manera homogénea en las rocas; en algunas de estas (muestra DL 21-1, vía Matanza-El Paujil) se encuentra formando biotita.

Feldespato potásico (7-10%): Individuos xenoblásticos con forma subredondeada-alargada, bordes irregulares, tamaño de grano fino y ocasionalmente siguen la foliación  $S_n$ ; con frecuencia exhibe manchas oscurecidas debido a su alteración a caolinita, macla polisintética y fracturas, estas fracturas se encuentran rellenas de clorita. Se asocia en contacto neto con la muscovita, cuarzo, algunas veces con la clorita o biotita. La caolinita se presenta como agregados

muy finos dispuestos sobre los feldespatos potásicos otorgándoles un aspecto sucio. La alteración hace parte de procesos anteriores al metamorfismo sufrido por la roca.

**Biotita (18%):** Se encuentran como agregados e individuos subidioblásticos-tabulares, con bordes rectos-irregulares y tamaños de grano fino. En algunas de las rocas se evidencia la nucleación de biotita a partir de la clorita. Se asocia en contacto neto con la muscovita, cuarzo, plagioclasa y en algunos sectores con el feldespato potásico. Distribuida de manera homogénea en toda la muestra.

**Minerales opacos (2-5%):** Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, con tamaños de grano fino a muy fino y formas pseudorectangulares; fueron formados posteriormente a la deformación que dio origen a la foliación  $S_n$  de las rocas.

**Epidota (1-3%):** Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, prismáticos-alargados y redondeados, su tamaño de grano es fino y se encuentra asociada en contacto neto con la muscovita, clorita y el cuarzo. Su distribución en la muestra es homogénea.

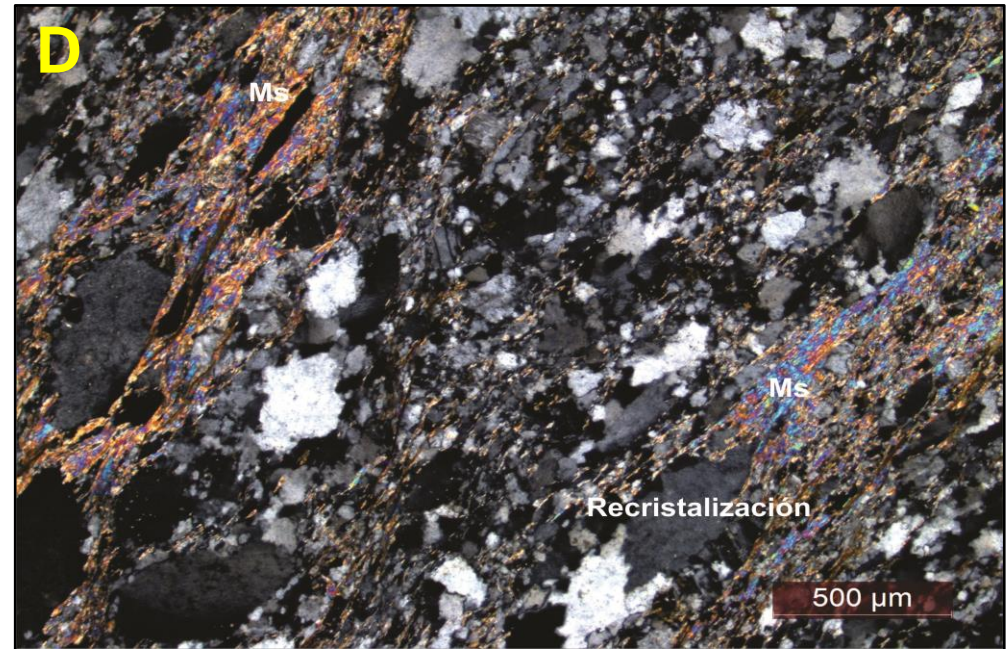
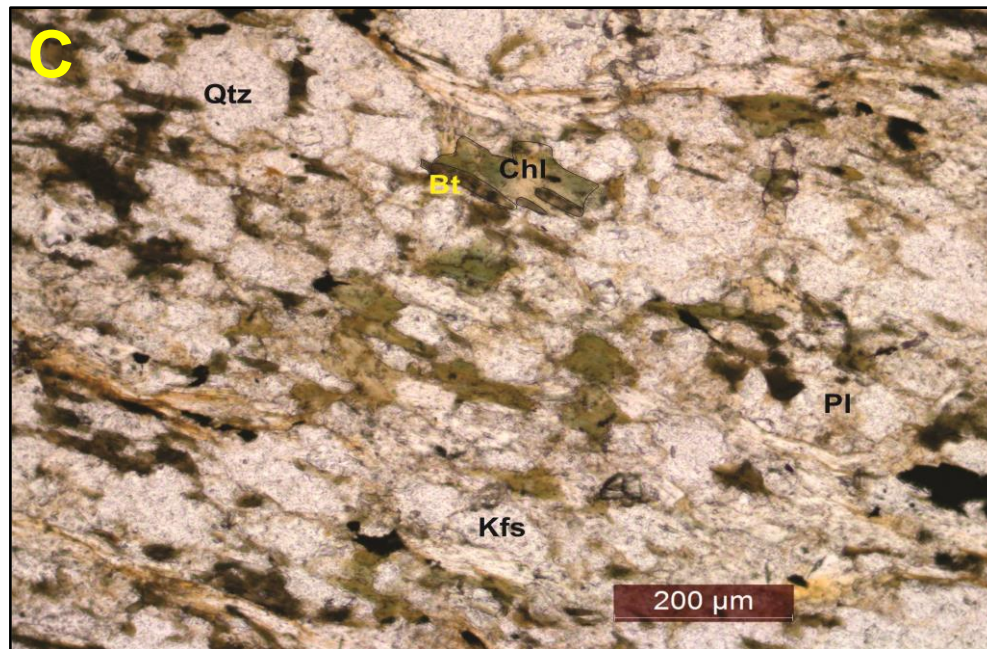
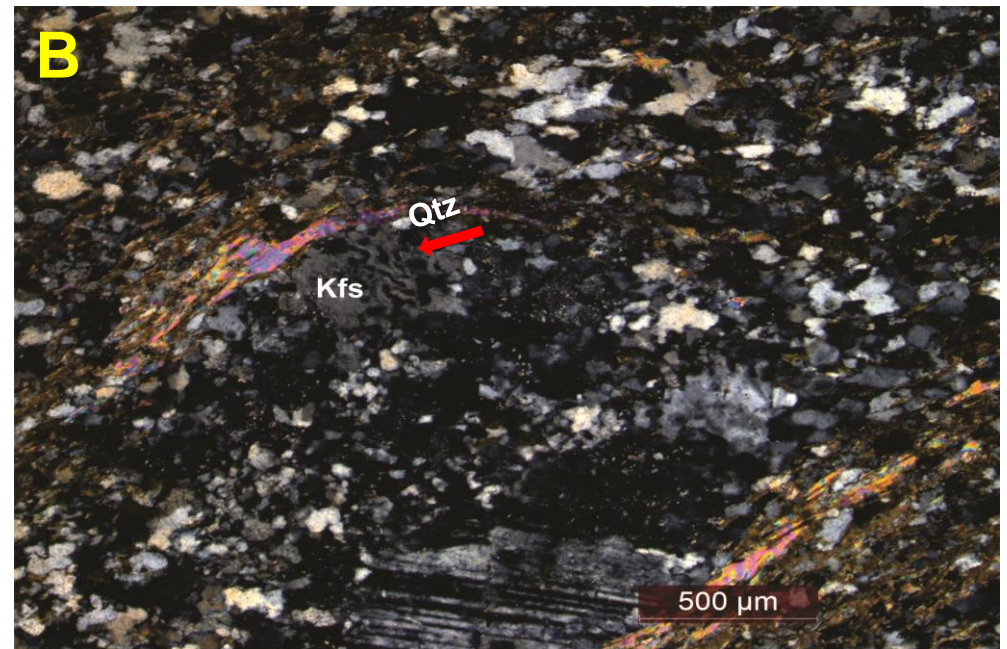
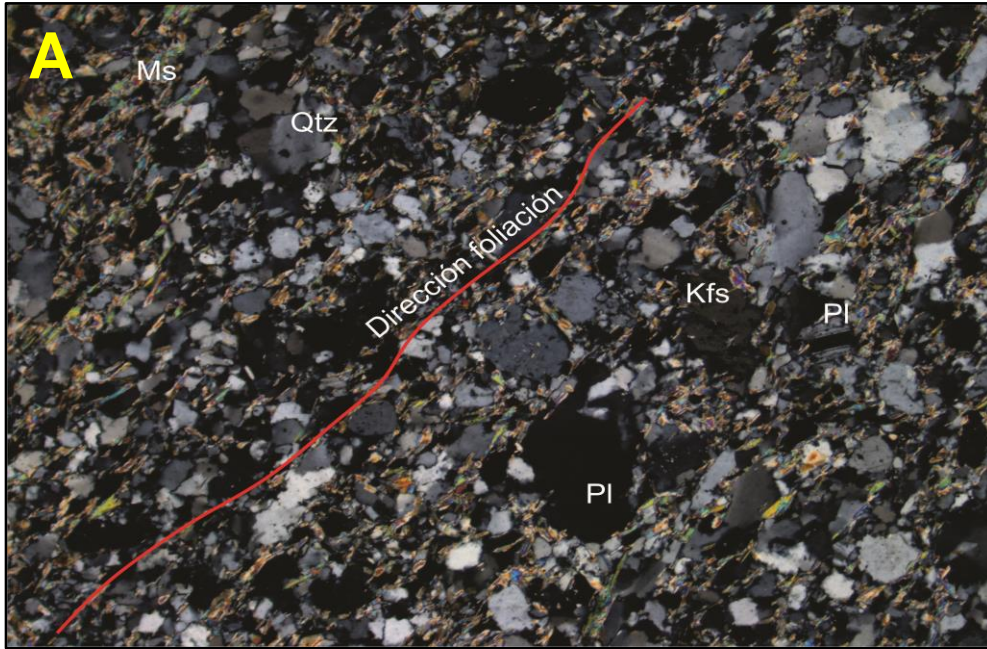
**Zircón (1-2%):** Individuos minerales subidioblásticos, con geometría prismática-redondeada y terminaciones piramidales o en punta, presenta tamaños de grano fino y se encuentran orientados según la foliación ( $S_n$ ) de la roca.

**Esfena (0-1%):** Individuos minerales subidioblásticos-rectangulares, con bordes redondeados; algunos de los blastos exhiben fracturas y presentan tamaños de grano muy finos.

**Apatito (0-1%):** Individuos subidioblásticos, con geometría prismática-alargada y tamaños de grano fino.

Las texturas principales de las metareniscas son: lepidogranoblástica y localmente textura mirmequitica relícta (crecimientos simplectíticos de cuarzo, y feldespato potásico) observadas en la *figura 20*.

**Figura 19. Microfotografías de metawacas.** **A:** Textura lepidogranoblástica y principal dirección de foliación ( $S_n$ ), muestra DL 2-4; **B:** Textura mirmequitica relictas, muestra DL 16-1; **C:** Nucleación de biotita a partir de clorita, muestra DL 21-1; **D:** Evidencias de cataclasis, muestra DL 16-1. (A-B-D) nicoles cruzados, (C) nicoles paralelos.



## 8. QUÍMICA MINERAL

Los análisis químicos semicuantitativos se realizaron en el microscopio electrónico de barrido (SEM) marca Quanta, modelo 650 FEG ambiental. Mediante esta técnica se analizó la composición química de los minerales clorita, muscovita, biotita, granate y minerales accesorios de los esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate (muestra DL 5-1 y DL11-4), filitas (muestra DL 3-1A) y esquistos muscovítico-cuarzosos (DL 8-1 y DL11-4).

Las mediciones en los minerales se realizaron en puntos de los cristales carentes de inclusiones o defectos.

Los contenidos de carbono reportados (no superan el 10% en peso) corresponden al recubrimiento de grafito durante la preparación de la muestra, practica estándar del laboratorio, con el objetivo de obtener una superficie eléctricamente conductiva.

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

### 8.1 MUSCOVITA

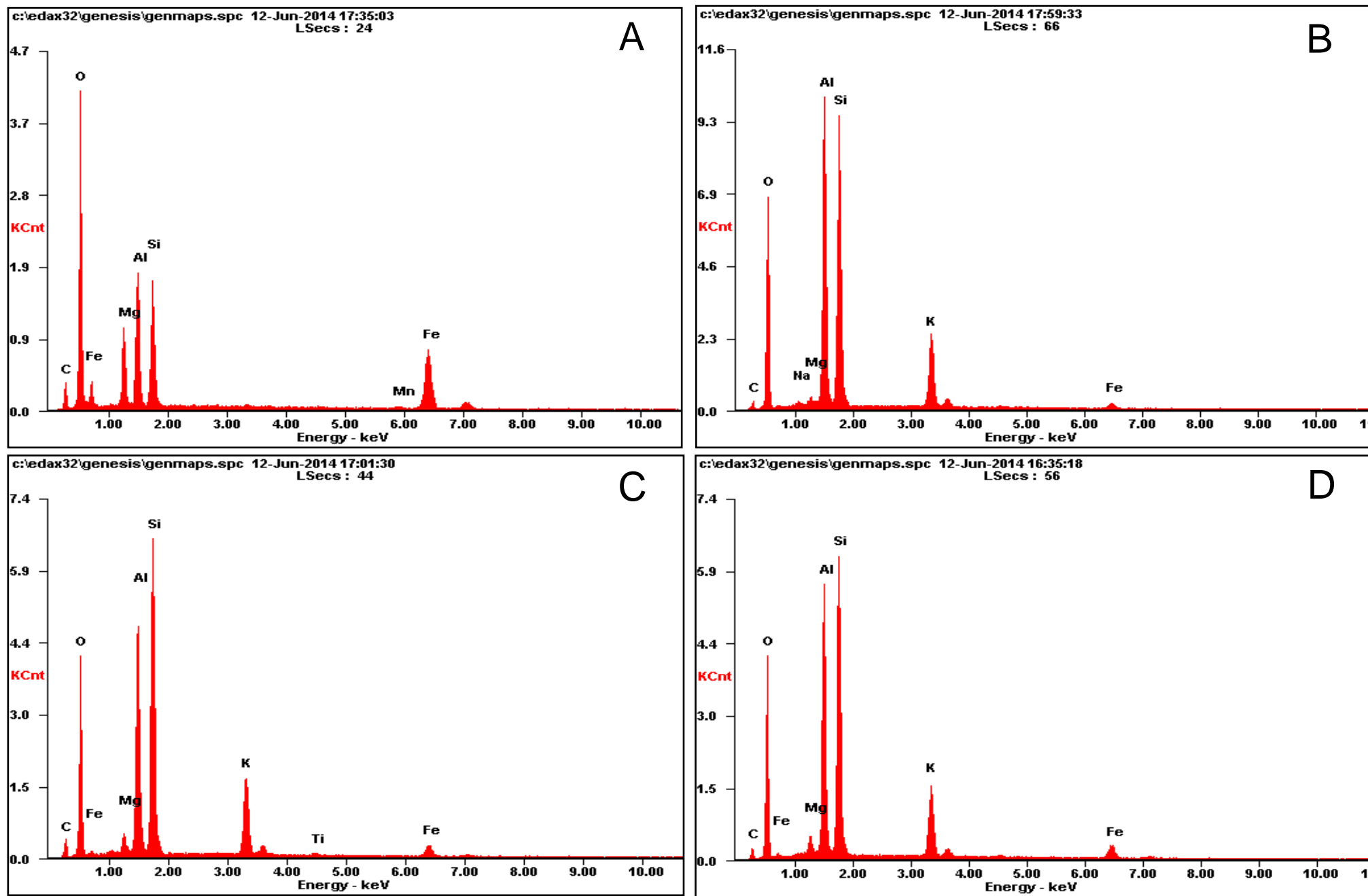
En la *figura 21* se presentan los espectros de dispersión para la muscovita en las muestras analizadas y en la *tabla 5* se muestra la composición de esta.

**Tabla 5. Composición química de la muscovita.**

Elemento Químico (% en peso)	N° muestra			
	PELITAS			SEMIPELITAS
	DL 3-1A	DL 5-1	DL 11-4	DL 8-1
	Filita	Esq. cuarzo-muscovítico con granate	Esq. cuarzo-muscovítico	Esquisto muscovítico-cuarzoso
	P. 8	P. 6	P.4	P. 1
Na	0,42	-	-	-
Mg	0,61	0,72	1,49	1,24
Al	22,49	19,01	19,73	18,08
Si	26,44	22,53	26,53	26,02
K	9,28	6,56	8,71	9,29
Fe	2	1,91	4,92	4,2
Ti	-	-	-	0,39
O	35,31	45,05	33,29	33,36
C	3,46	4,22	5,35	7,39

Los resultados indican un descenso de Al en rocas semipelíticas en comparación con las rocas pelíticas. Hacia el norte del área de estudio (Turbay-Las Abejas-El Mohan) las rocas pelíticas presentan un aumento de Fe, evidenciando una posible composición fengítica en este sector. Las filitas localizadas al sur del área presentan contenidos de Na indicando probablemente la presencia de mica paragonítica.

Figura 20. Espectros de dispersión de energía de rayos X para la muscovita. A: Punto 8, muestra DL 3-1A; B: Punto 6, muestra DL 5-1; C: Punto 1, muestra DL 8-1; D: Punto 4, muestra DL 11-4. (A-B-D: rocas pelíticas, C: semipelita).



## 8.2 CLORITA

Los resultados para la clorita se presentan en la *figura 22* y en la *tabla 6*, estos muestran un considerable aumento del contenido de Mg en las rocas pelíticas y semipelíticas del norte del área en comparación con las pelitas aflorantes al sur de la zona de estudio; este aumento de Mg se relaciona con la disminución del contenido de Fe, que a pesar de presentar una tendencia inversa al porcentaje de Mg, continua estando en mayor proporción a este.

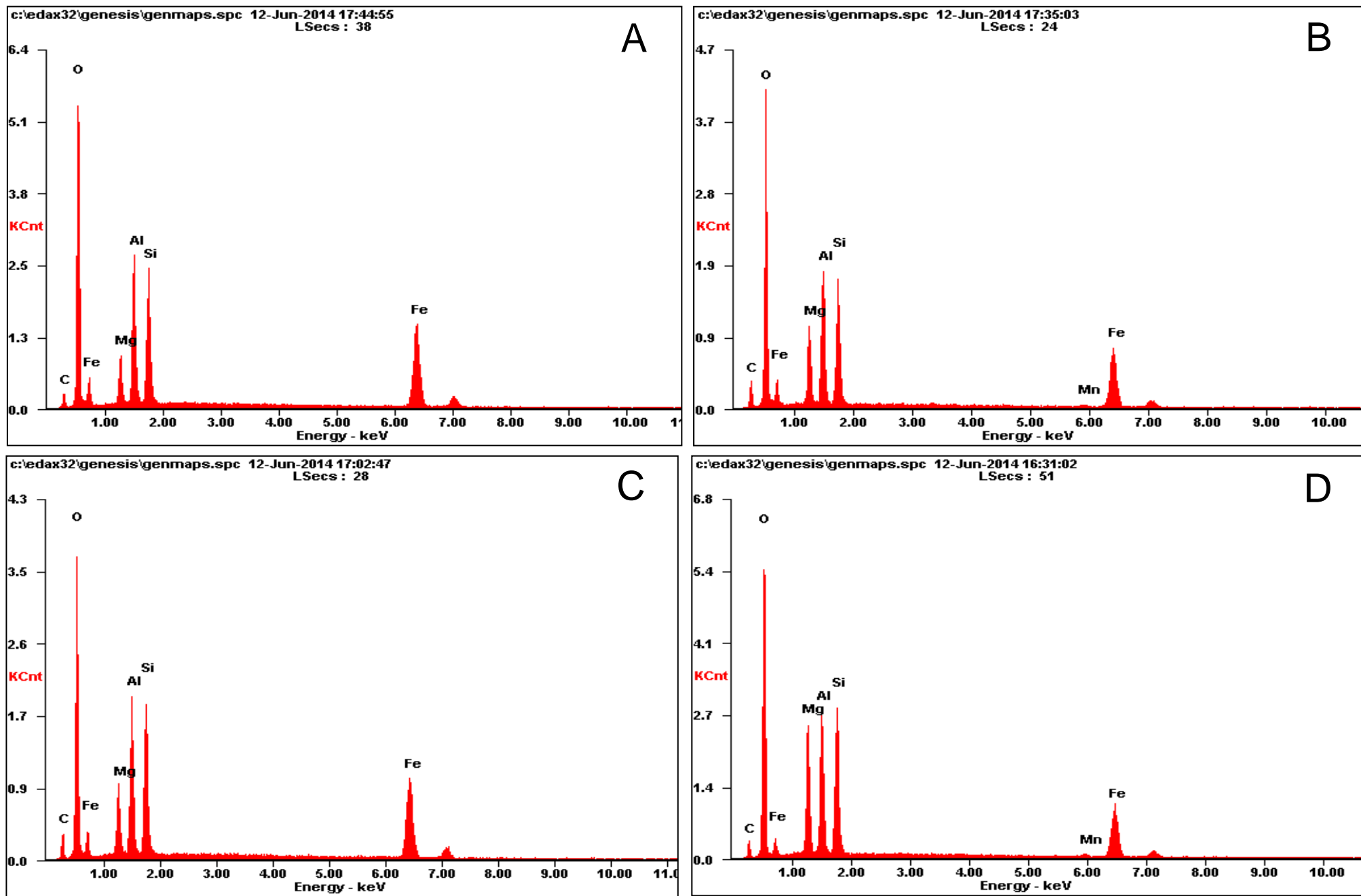
El incremento de Mg en las cloritas posiblemente se deba a un ligero aumento en el grado metamórfico del sector septentrional en el área de estudio.

Algunas de las muestras (DL 5-1 y DL 11-4) presentan escasos contenidos de Mn.

**Tabla 6. Composición química de la clorita.**

Elemento Químico (% en peso)	N° muestra							
	PELITAS						SEMIPELITAS	
	DL 3-1A				DL 5-1	DL 11-4	DL 8-1	
	Filita				Esq. cuarzo-muscovítico con granate	Esq. cuarzo-muscovítico	Esquisto muscovítico-cuarzoso	
	P.1	P. 2	P. 4	P. 6	P. 6	P. 2	P. 2	P. 3
Mg	4,87	4,87	3,56	5,11	7,5	11,91	6,41	5,79
Al	13,81	14,12	10,11	14,54	13,2	13,64	13,26	13,31
Si	12,76	12,74	27	12,81	11,78	14,14	12,66	13,16
Fe	28,79	29,84	21,33	28,8	21,62	18,53	26,6	29,25
Mn	-	-	-	-	0,61	0,77	-	-
O	33,44	33,34	34,07	33,99	35,74	34,84	32,65	31,01
C	6,32	5,09	3,93	4,75	9,54	6,17	8,42	7,48

**Figura 21. Espectros de dispersión de energía de rayos X para la clorita.** A: Punto 2, muestra DL 3-1A; B: Punto 6, muestra DL 5-1; C: Punto 2, muestra DL 8-1; D: Punto 2, muestra DL 11-4. (A-B-D: rocas pelíticas, C: semipelita).



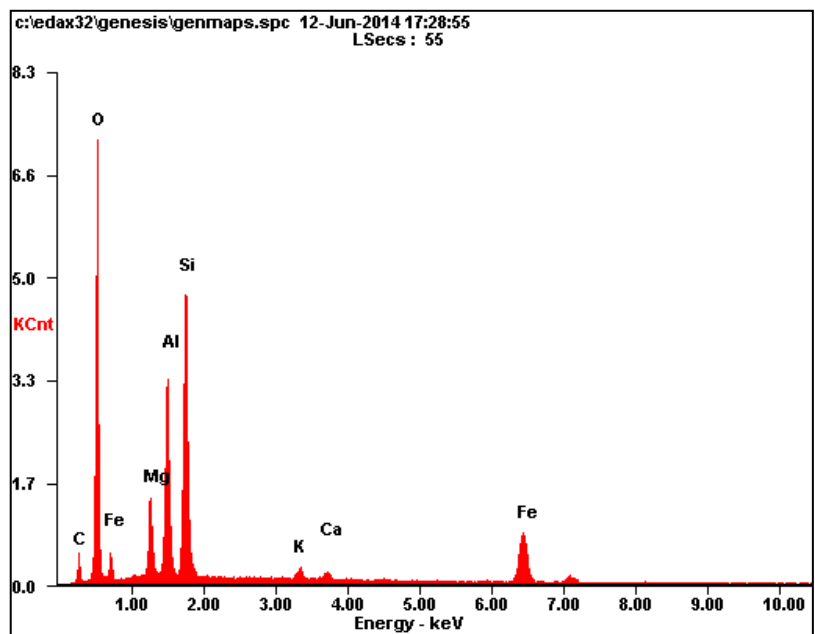
### 8.3 BIOTITA

Los resultados de los análisis se muestran en la *figura 23* y *tabla 7*, se puede ver un contenido de K habitual en las biotitas metamórficas de todos los grados (Guidotti, 1984), y una predominancia de Fe sobre el Mg indica posiblemente temperaturas de cristalización bajas.

**Tabla 7. Composición química de la biotita.**

Elemento Químico (% en peso)	N° muestra
	PELITA
	Esq. cuarzo-muscovítico con granate
	DL 5-1
	P. 4
Mg	4,94
Al	13,53
Si	18,97
Ca	0,71
Fe	13,71
K	0,93
O	39,28
C	7,93

**Figura 22. Espectro de dispersión de energía de rayos X para la biotita en rocas pelíticas.**

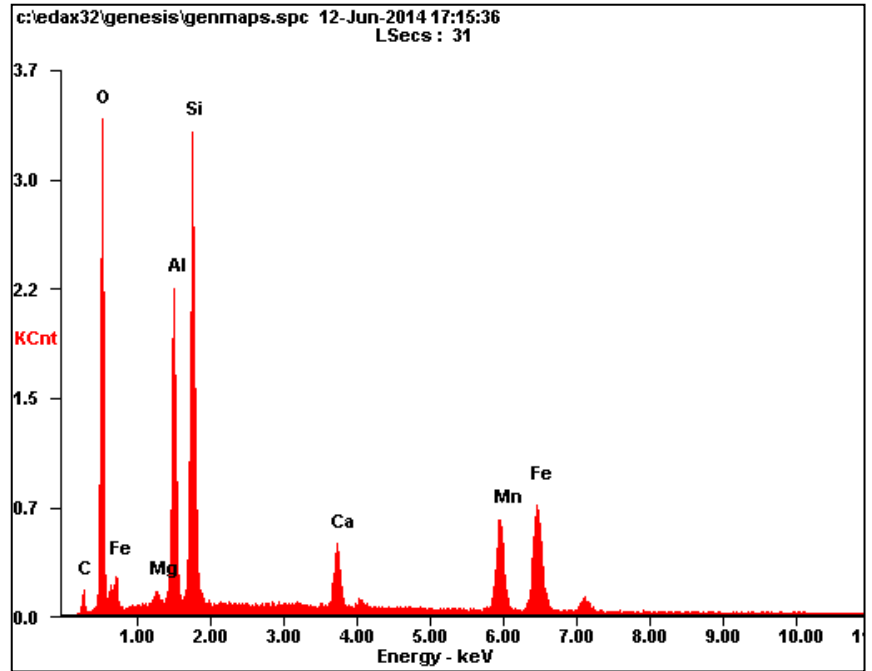


### 8.4 GRANATE

Los análisis para el granate (*figura 24* y *tabla 8*) indican que el contenido de Fe es mayor que el Mn, Ca y Mg, por lo que posiblemente se trate de un granate tipo almandino; aunque el contenido de Mn y Ca indican temperaturas de aparición bajas durante el metamorfismo progrado.

**Tabla 8. Composición química del granate.**

Elemento Químico (% en peso)	N° muestra
	PELITA
	DL 5-1
	Esquisto cuarzo- muscovítico con granate
	P. 1
Mg	0,61
Al	12,8
Si	19,17
Ca	3,6
Fe	17,64
Mn	13,62
O	28,37
C	4,18



### 8.5 MINERALES ACCESORIOS Y OPACOS

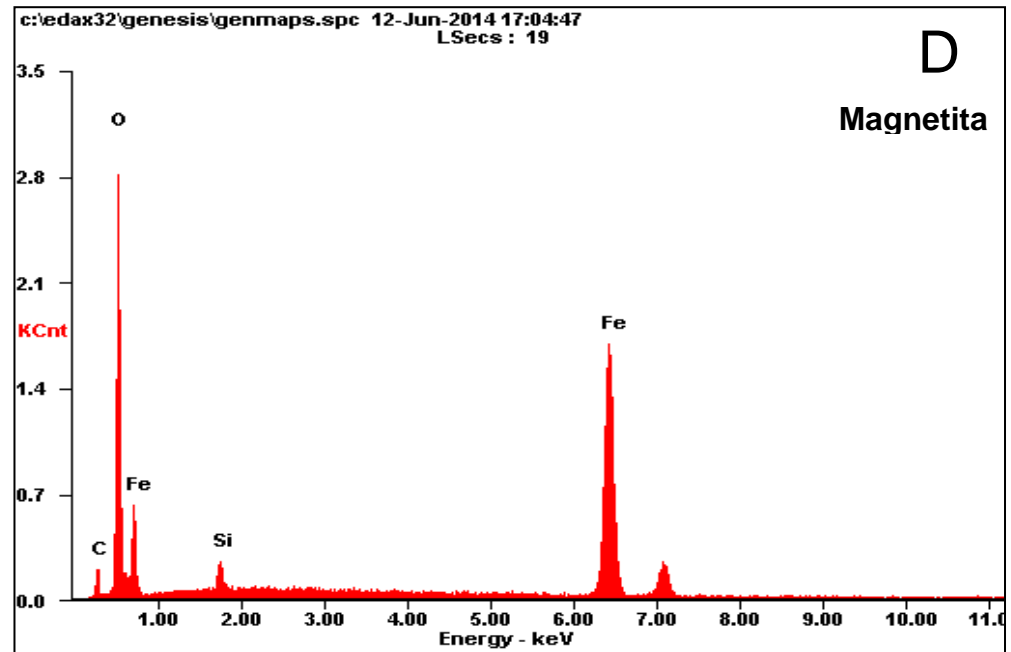
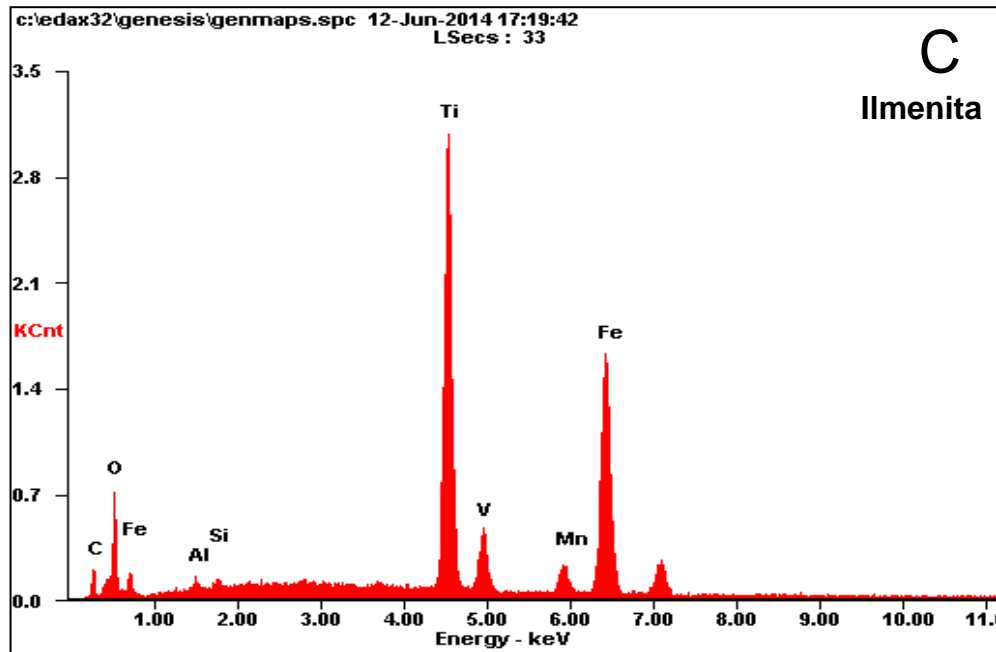
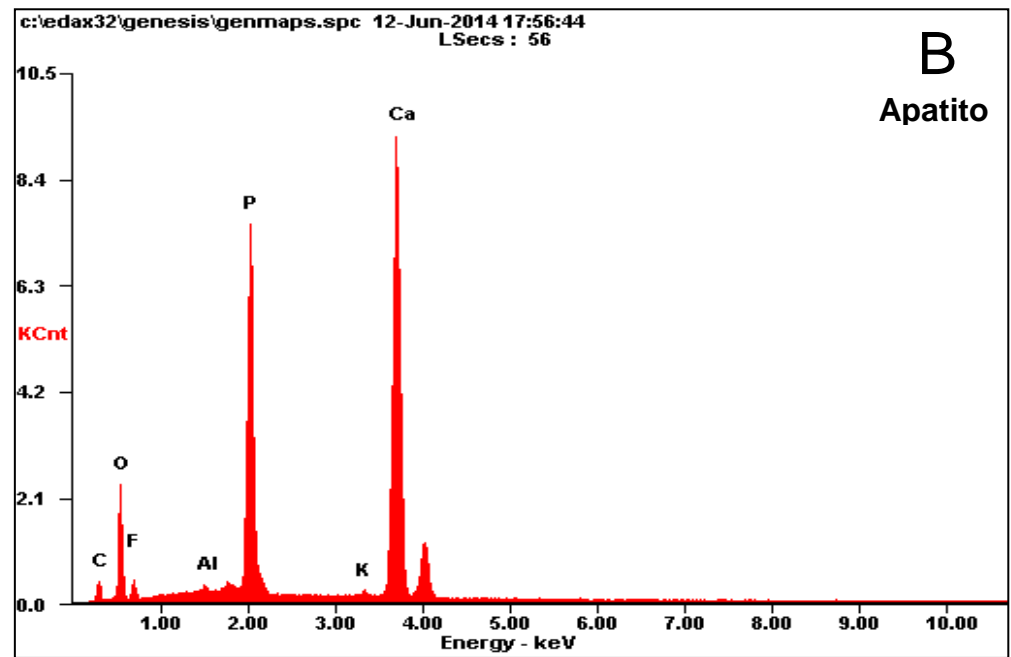
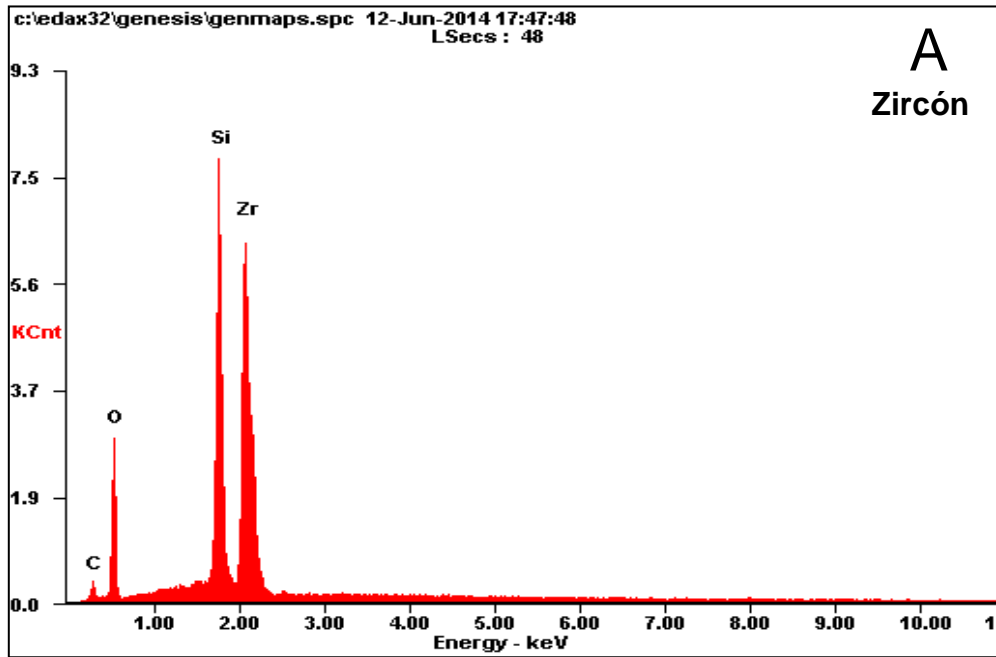
Los minerales accesorios son zircón, fluorapatito. Entre los opacos se destacan, ilmenita y magnetita.

En las rocas pelíticas y semipelíticas el tamaño de grano de la magnetita e ilmenita aumenta hacia el norte del área. En las ilmenitas los contenidos de Fe y Mn de las rocas pelíticas en el sector de Turbay son considerablemente más bajos que los de las rocas pelíticas y semipelíticas cercanas a Cachirí, a diferencia del Si que se presenta en mayores concentraciones en las zonas proximas a Turbay y en menores hacia Cachirí.

**Tabla 9. Composición química de los minerales accesorios y opacos.**

Elemento Químico (% en peso)	N° muestra								
	PELITAS							SEMIPELITA	
	DL 3-1A		DL 5-1		DL 11-4			DL 8-1	
	Filita		Esq. cuarzo- muscovítico con granate		Esq. cuarzo-muscovítico			Esq. muscovítico- cuarzoso	
	Zircón	Apatito	Ilmenita		Magnetita	Ilmenita		Magnetita	Ilmenita
Zr	49,3	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	4,41	-	-	-	-	-	-	-
Al	-	0,41	0,68	0,45	-	4,11	0,86	-	-
P	-	19,5	-	-	-	-	-	-	-
K	-	0,38	-	-	-	1,1	0,28	-	-
Ca	-	43,46	-	-	-	-	-	-	-
Si	18,96	-	0,42	0,74	-	3,93	-	1,93	0,37
Ti	-	-	35,82	36,81	-	25,84	38,08	-	33,13
V	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	4,29	9,81	-	1,02	1,21	-	3,76
Fe	-	-	42,52	38,44	78,03	14,3	20,63	64,5	35,91
Na	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	0,38	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	1,82	3,93	-	-
Y	-	-	-	-	-	1,75	3,67	-	-
Pb	-	-	-	-	-	5,18	5,19	-	-
Zn	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-
U	-	-	-	-	-	1,62	-	-	-
O	26,06	27,17	12,9	12,1	18,91	34,09	23,05	28,09	22,53
C	5,68	4,67	3,37	1,88	3,05	4,05	3,09	5,48	4,28

Figura 24. Espectros de dispersión de energía de rayos X para los minerales accesorios y opacos. A: Zircón. Punto 3, muestra DL 3-1A; B: Apatito. Punto 7, muestra DL 3-1A; C: Ilmenita. Punto 2, muestra DL 5-1; D: Magnetita. Punto 4, muestra DL 8-1. (A-B-C: rocas pelíticas, D: semipelita).



## 9. METAMORFISMO

El área de estudio fue afectada por un metamorfismo progrado, predominantemente de tipo regional que generó una intercalación de esquistos pelíticos, semipelíticos, filitas y metawacas. Estas rocas sufrieron un metamorfismo regresivo y un metamorfismo dinámico asociado a la actividad tectónica en la zona.

### 9.1 METAMORFISMO REGIONAL

El metamorfismo regional es de bajo grado, alcanzando la parte baja de la zona del granate de la facies esquistos verdes, la cual corresponde al pico metamórfico. Otras paragénesis definidas indican las zonas de la clorita y biotita en la facies esquistos verdes. De acuerdo con Spear, 1993, las temperaturas para estas zonas de metamorfismo en rocas pelíticas y semipelíticas varían entre los 350-440°C. A continuación se describe la zonación metamórfica del área de estudio:

#### 9.1.1 Zona de la Clorita

Las rocas pertenecientes a esta zona, se localizan en proximidades a Cachirí, en el sector Turbay-Las Abejas-El Mohán y al nororiente del municipio de Matanza, y presentan las siguientes paragénesis:

En rocas pelíticas

Muscovita + Cuarzo + Clorita ± Plagioclasa ± Feldespato potásico

Muscovita + Cuarzo + Clorita

Rocas semipelíticas

Muscovita + Cuarzo + Plagioclasa + Feldespato potásico + Clorita ± Epidota

Muscovita + Cuarzo + Plagioclasa ± Feldespato potásico ± Clorita

La paragénesis inicial (*figura 26A*) clorita + plagioclasa + muscovita + cuarzo para la zona de la clorita en rocas pelíticas está probablemente por debajo de los 350°C según Spear (1993).

Hacia el norte del área de estudio (Cachirí-Turbay-El Mohan) se produce un incremento del metamorfismo dentro de la zona de la clorita, esta variación se manifiesta (*figura 26*) por el aumento de tamaño de los blastos de clorita, la diferencia de sus colores de interferencia, pues hacia Turbay-El Mohán varían de marrón-amarillo mientras en proximidades a Cachirí son azul-violeta-amarillo, según Nieto (1985), Lozano y Bernal (2005) las cloritas con colores de interferencia marrones indican contenidos de Mg mayores que las cloritas con colores de interferencia azules y violetas (ricas en Fe y pobres en Mg). Esta apreciación se corrobora por los resultados obtenidos al SEM, según los cuales el, Mg varía entre 5,79 a 11.91 (% en peso) (*ver tabla 6*).

### **9.1.2 Zona de la Biotita**

Las rocas pertenecientes a esta zona, se localizan al norte del área de estudio (vía Cachirí-Turbay) y al suroeste de Matanza (*Figura 28*), las paragénesis en la zona de la biotita son las siguientes:

En rocas pelíticas:

Muscovita + Biotita + Epidota

Muscovita + Cuarzo + Biotita.

Rocas semipelíticas:

Muscovita + Cuarzo + Plagioclasa + Biotita

Muscovita + Cuarzo + Biotita ± Plagioclasa ± Feldespato potásico

La primera aparición de biotita en estas rocas se produce por la reacción clorita + feldespato potásico, en el campo de la pirofilita a temperaturas mayores de 300°C

y menores a 400°C (Spear, 1993); posiblemente por esta reacción en las rocas pelíticas se agote el feldespato potásico y no se encuentre en las paragénesis, a diferencia de las rocas semipelíticas que si presentan feldespato potásico en sus paragénesis.

En sección delgada se evidenció la formación de biotita a partir de clorita en rocas pelíticas de la zona de Matanza y en las rocas semipelíticas del sector de Turbay-Las Abejas-El Mohan, Matanza-El Paujil. (*ver figura 27*).

Para las rocas semipelíticas esta es la máxima zona metamórfica alcanzada, mientras que las rocas pelíticas llegan a alcanzar la zona del granate.

### **9.1.3 Zona del Granate**

La presencia de granate se manifiesta en cercanías a Cachimí y presenta las paragénesis características:

En rocas pelíticas:

Clorita + Muscovita + Cuarzo

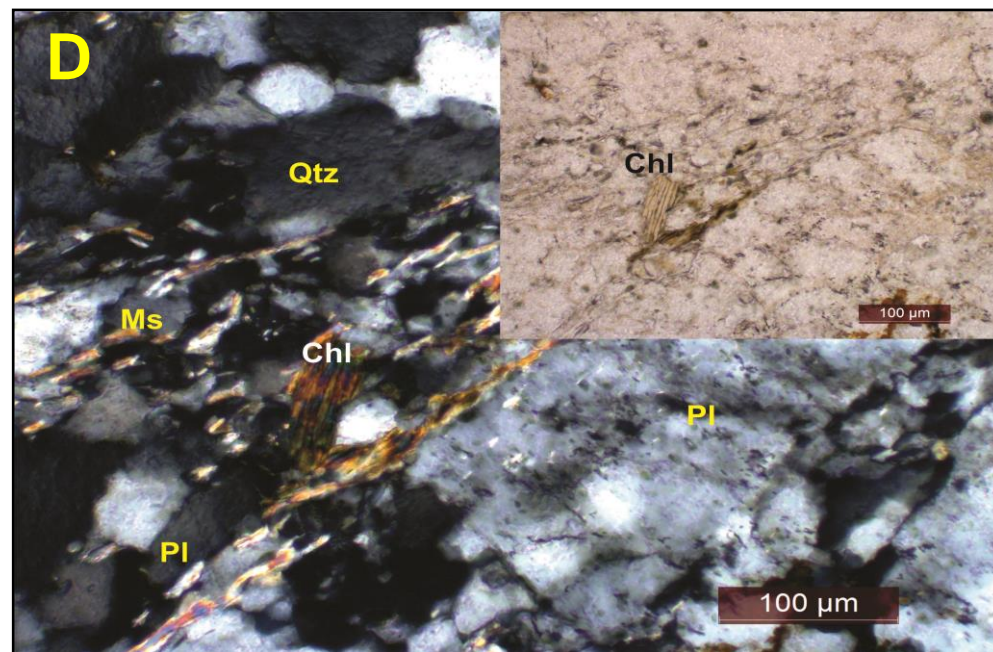
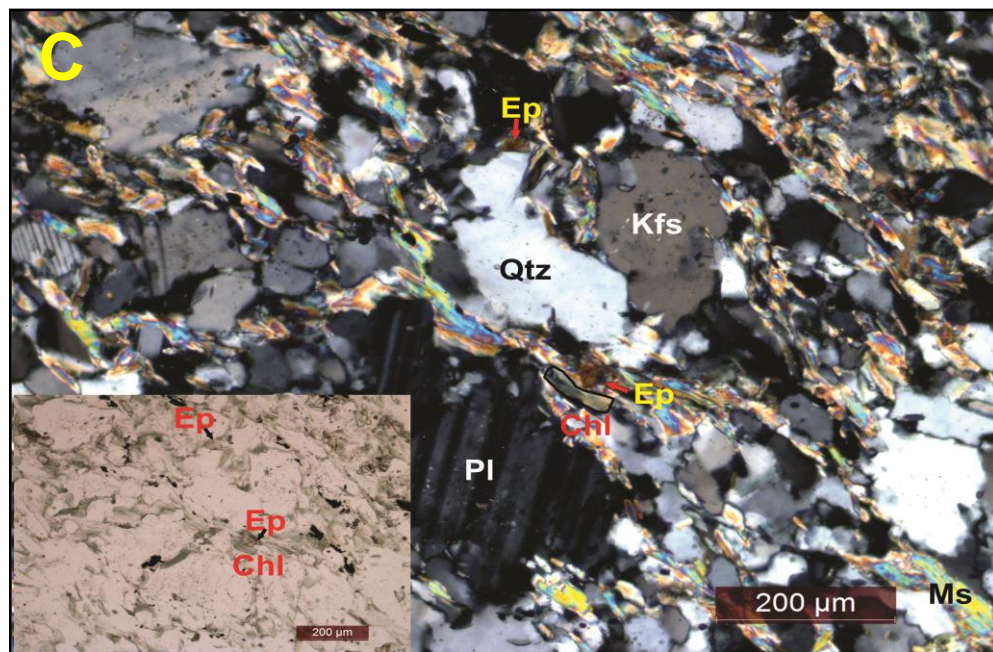
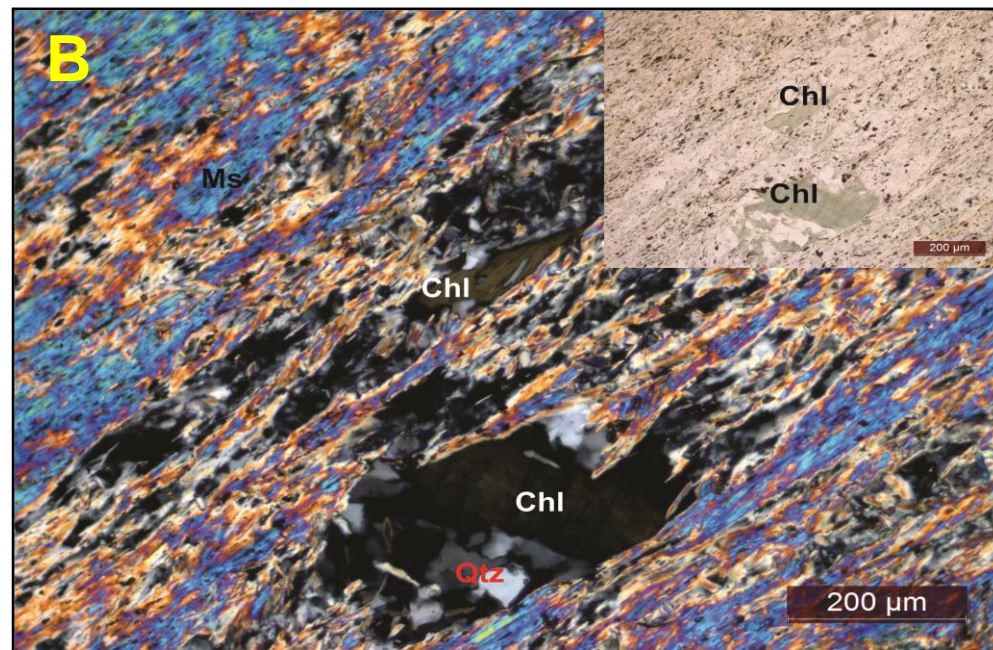
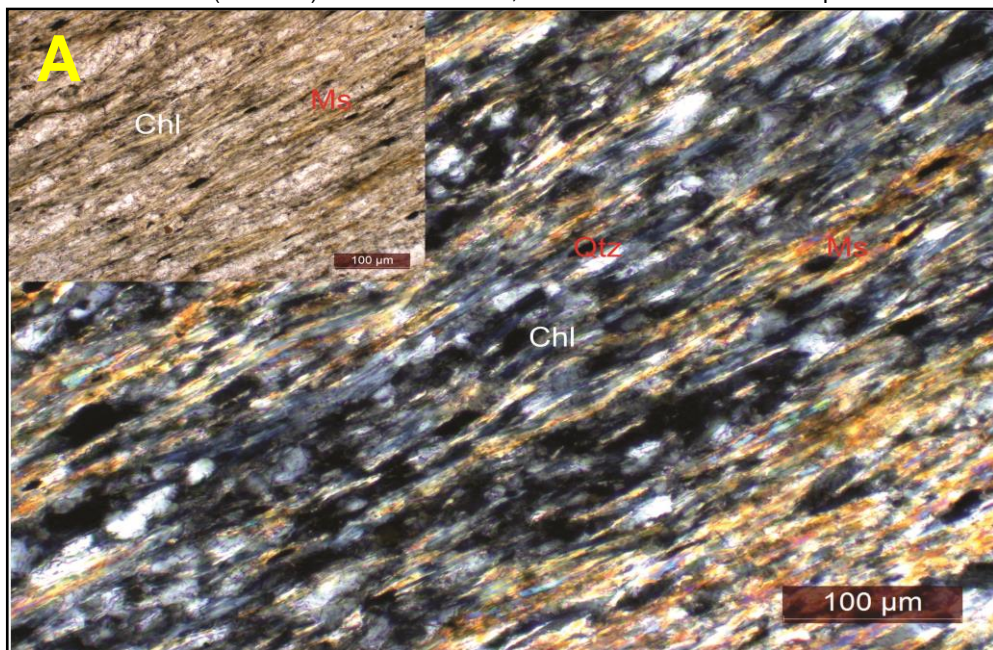
Muscovita + Cuarzo + Biotita

Muscovita + Cuarzo + Granate

La primera aparición del granate puede ocurrir según Spear (1993) a temperaturas entre 440 y 470°C, aunque el contenido de Mn (13,62% en peso) y Ca (4,18 % en peso) en los granates (*ver tabla 8*) encontrados puede indicar temperaturas de formación más bajas, alrededor de los 440°C.

La paragénesis clorita + muscovita + cuarzo representa la mineralogía original de la roca, posteriormente se formó la biotita (a partir de clorita) y en una etapa superior se genera el granate. Evidencia de estas reacciones se observan en la *figura 27D*.

**Figura 25. Microfotografías de rocas pelíticas y semipelíticas en la zona de la clorita.** A: Paragénesis rocas pelíticas con clorita Fe, muestra DL 4-2; B: Roca pelítica con clorita Fe y contenidos mayores de Mg, muestra DL 11-4; C: Paragénesis rocas semipelíticas con clorita Fe, muestra DL- 2-4; D: Roca semipelítica con clorita Fe y contenidos superiores de Mg, muestra DL 16-1. (A-B-C-D) nicoles cruzados, recuadros: A-B-C-D nicoles paralelos.



**Figura 26. Microfotografías de rocas pelíticas y semipelíticas en las zonas de la biotita y granate.** **A:** Roca pelítica, generación de biotita a partir de clorita, muestra DL 2-3; **B:** Paragénesis de rocas pelíticas y nucleación de biotita, muestra DL 5-1; **C:** Paragénesis rocas semipelíticas y primera aparición de biotita, muestra DL 8-1; **D:** Paragénesis roca pelítica, zona del granate, resultado final de las reacciones, muestra DL 5-1. (A-B-C) nicoles paralelos, (D) nicoles cruzados, recuadros: B-C nicoles cruzados.

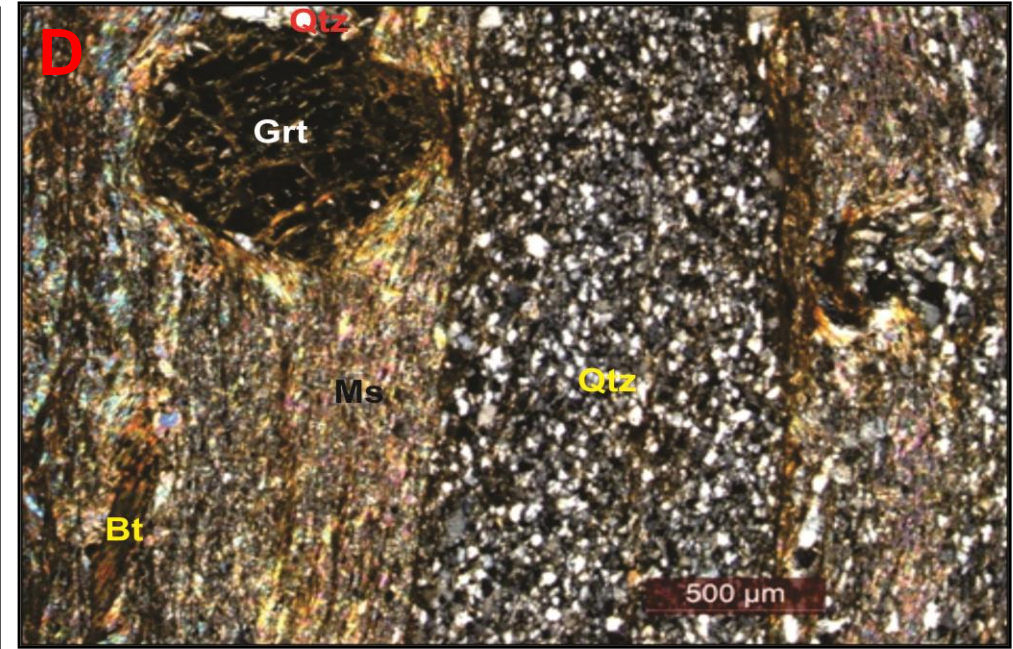
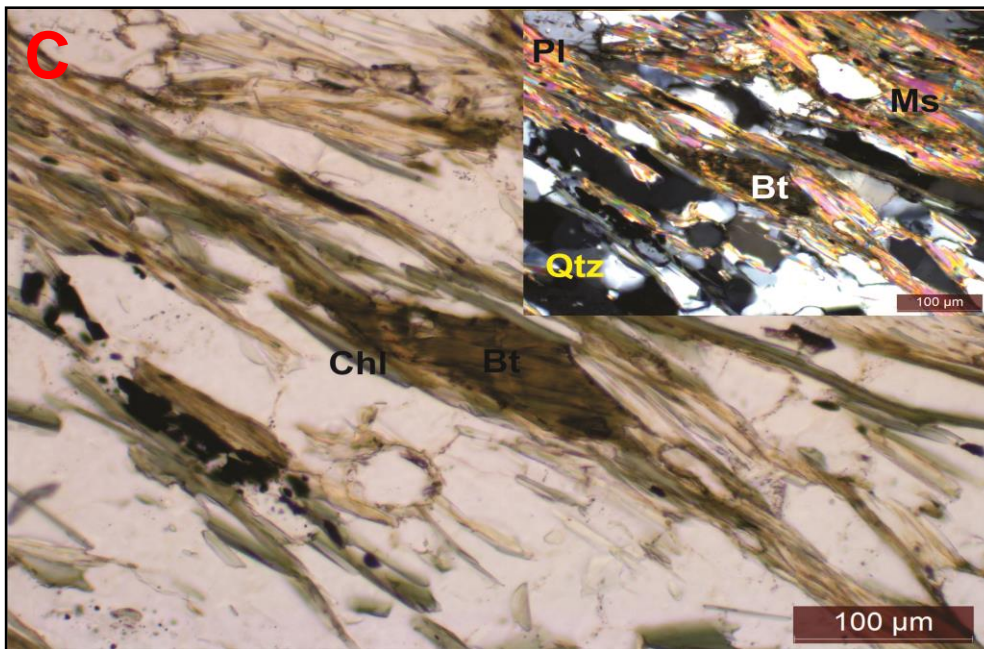
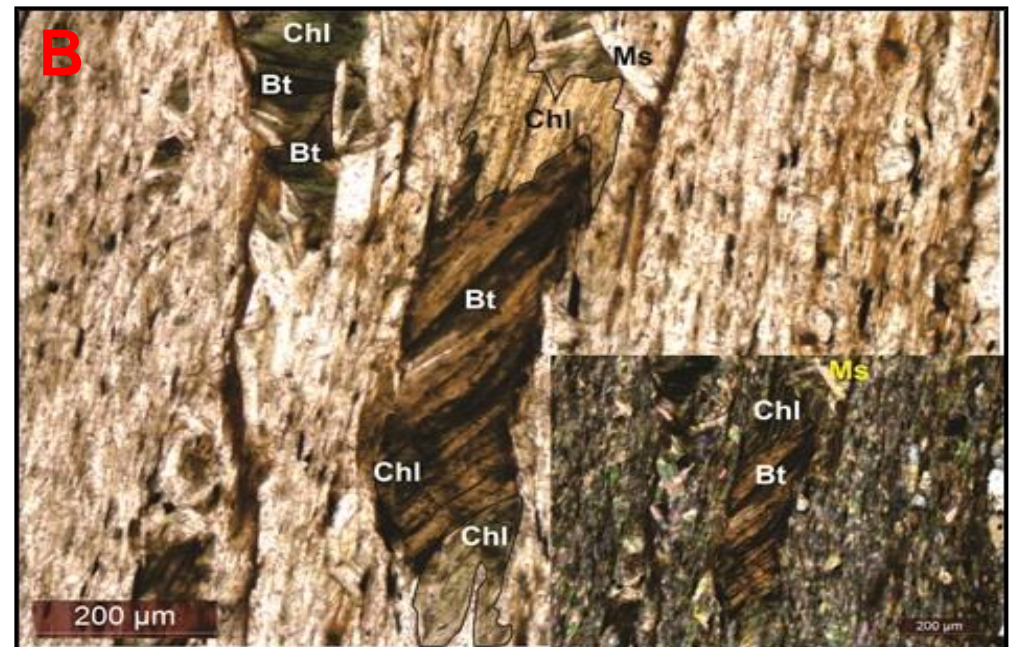
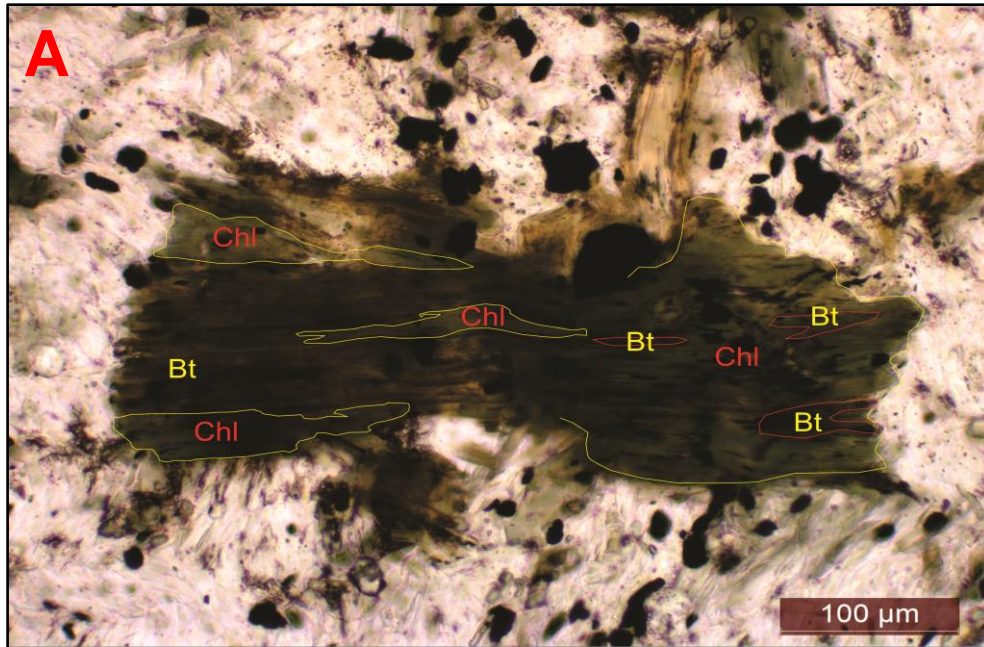
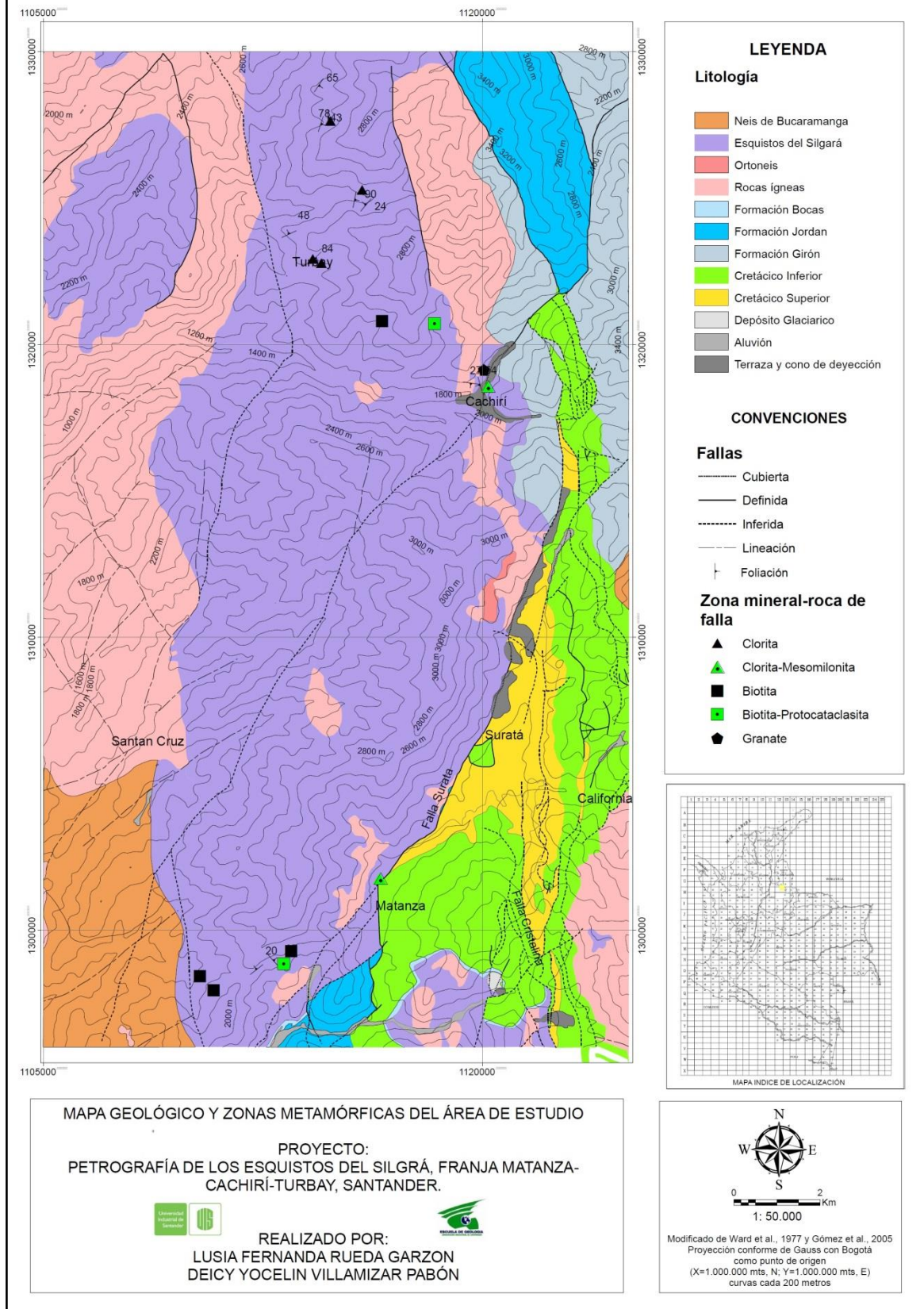


Figura 27. Mapa geológico y zonas metamórficas del área de estudio. También se presenta como ANEXO C.



Modificado de Ward et al. (1977) y Gómez et al. (2007)

## 9.2 METAMORFISMO RETROGRADO

La etapa retrograda se encuentra marcada por la cloritización del granate, la biotita, la sericitización de la plagioclasa y la caolinitización del feldespato potásico (*figura 29*) en los esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate y en los esquistos muscovítico-cuarzosos presentes en la zona norte del área de estudio.

## 9.3 METAMORFISMO DINÁMICO

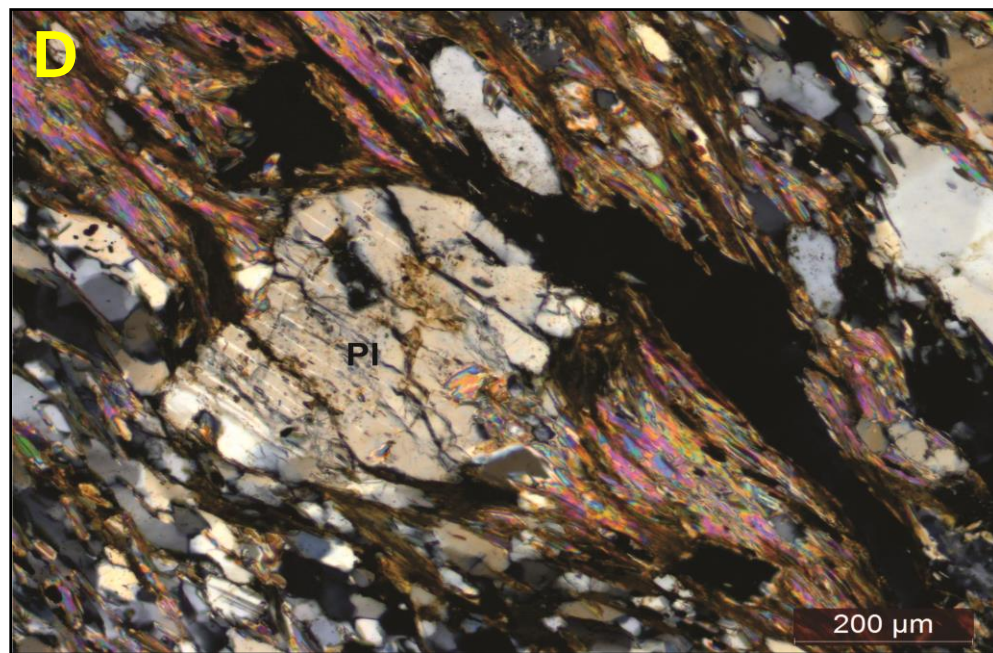
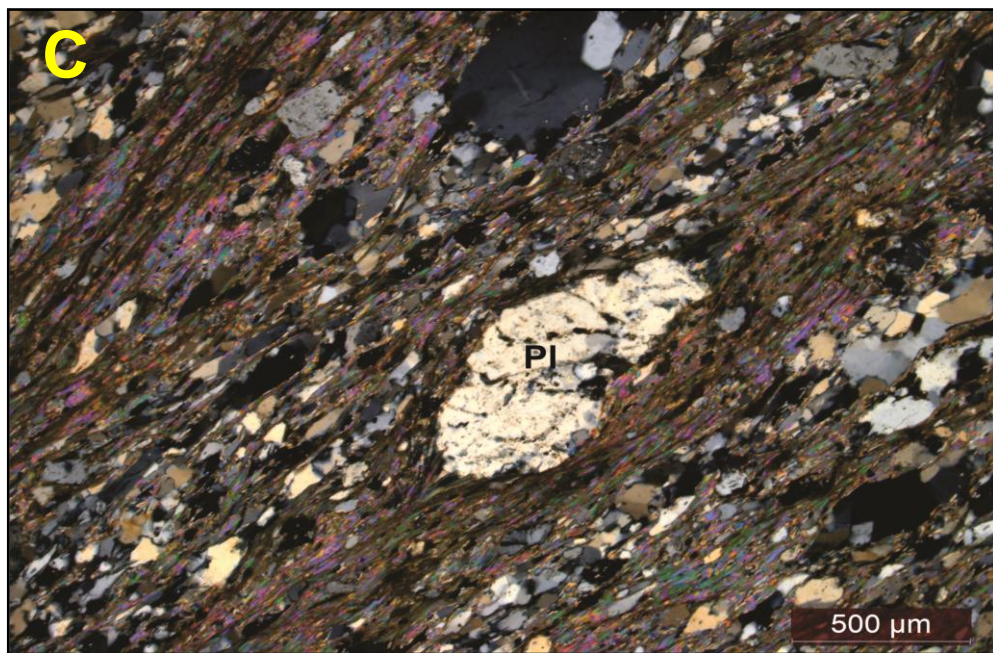
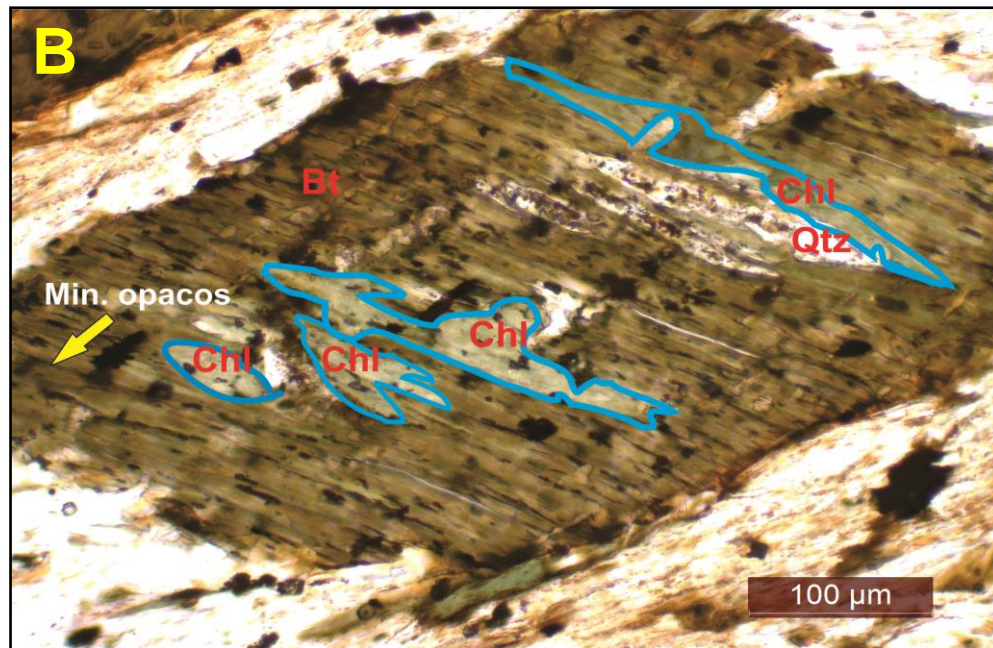
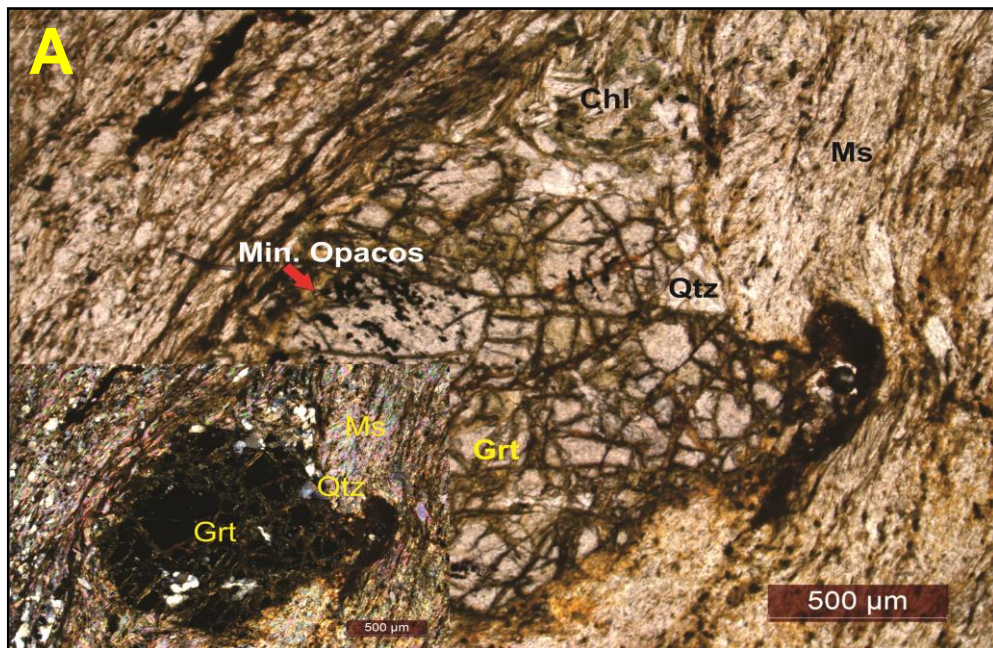
El metamorfismo dinámico en la zona de estudio es evidenciado por el plegamiento de los afloramientos (*figura 13B*), muestras de mano milonitizadas y afectadas por cataclasitas en los sectores aledaños al Sistema de fallas Suratá-Arboledas.

Las rocas se clasificaron según la SCMR (2007) como protocataclasitas (muestras DL 8-1 y DL 18-1) y como mesomilonitas (muestras DL 3-1A, DL 4-1 y DL 4-2), estas presentan indicadores como recristalización por rotación de granos, micas tipo “fish”, trituración y dislocación de blastos, entre otros, mostrados en la *figura 30*.

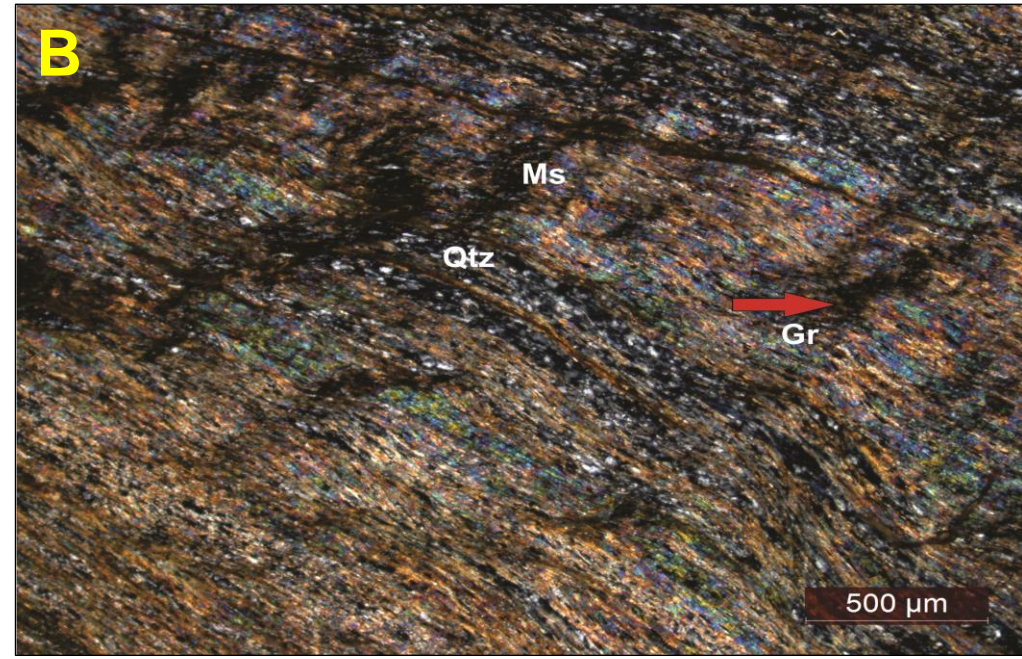
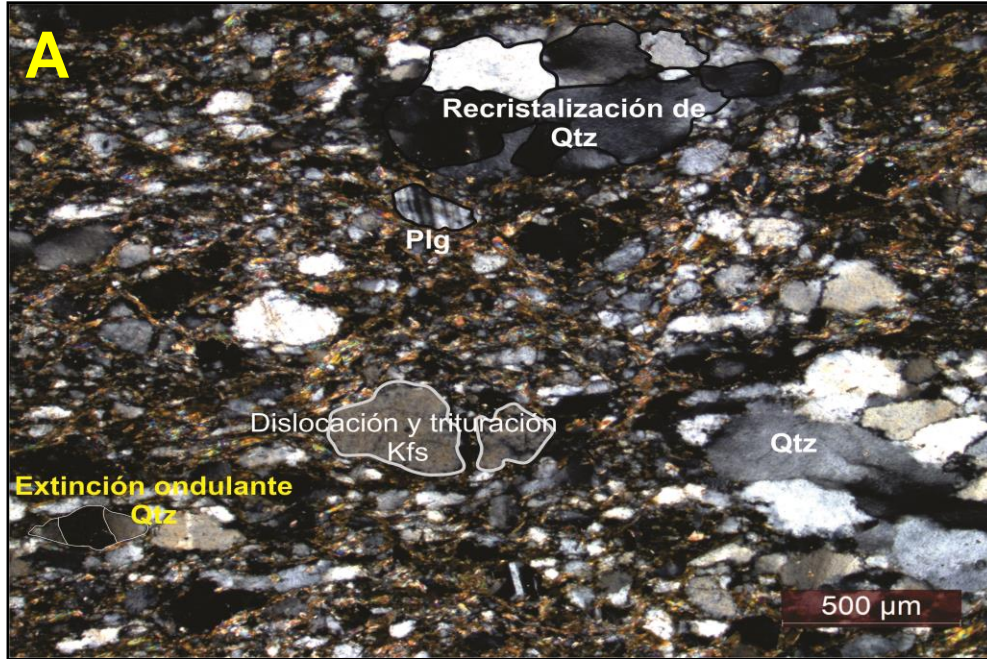
Las cataclasitas encontradas en el área son evidencia de deformación frágil, formadas posiblemente a profundidades inferiores a los 10 Km, presiones litostáticas por debajo de 3 Kbares y temperaturas menores a 300°C (Trouw *et al.*, 2010); a diferencia de las milonitas que indican deformación dúctil, algunas formadas posiblemente a temperaturas entre los 250-500°C, las rocas milonitizadas a estas temperaturas presentan fracturamiento por cataclasis, extinción ondulosa del cuarzo, bordes lobulados y eventualmente recristalización (DL 4-1, DL 4-2, DL 3-1A).

La Falla Suratá se ubica dentro del Sistema de fallas Suratá-Arboledas, esta presenta un rumbo predominante N15°E (Royero y Clavijo, 2001), su evolución tectónica según Julivert y Téllez (1963) es complicada ya que empieza con movimientos relativos de distensión Precretácicos relacionados con el hundimiento del bloque occidental, continua con movimientos de tipo compresivo Postcretácicos relacionados con la orogénesis Terciaria y actualmente presenta una cinemática inversa con componente de rumbo lateral-derecho; además se relaciona con la Falla de Bucaramanga-Santa Marta a 750 m (aproximadamente) al norte de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973).

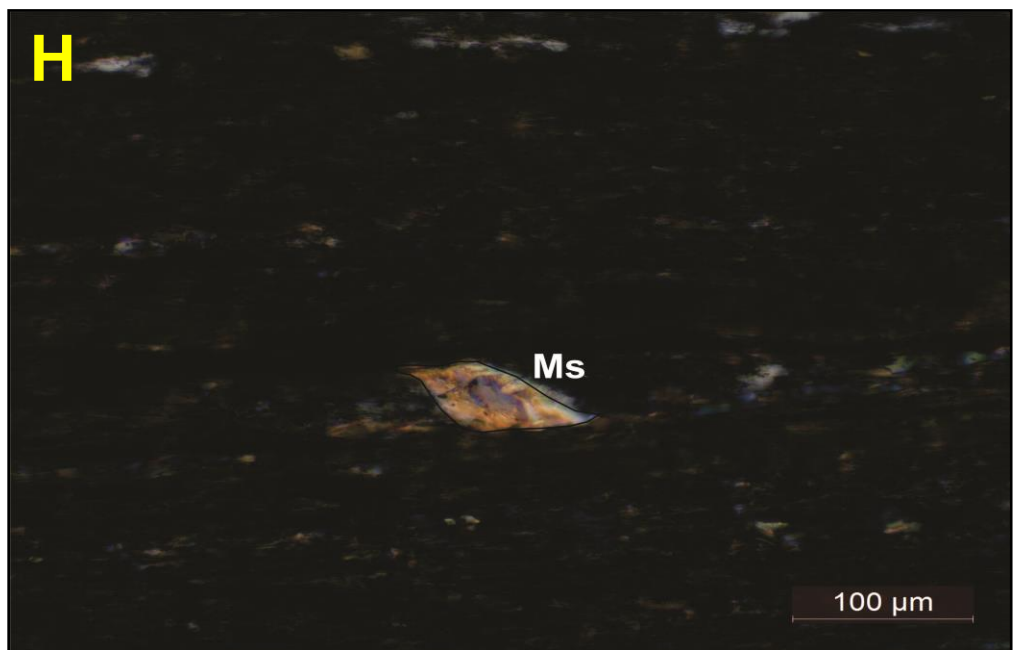
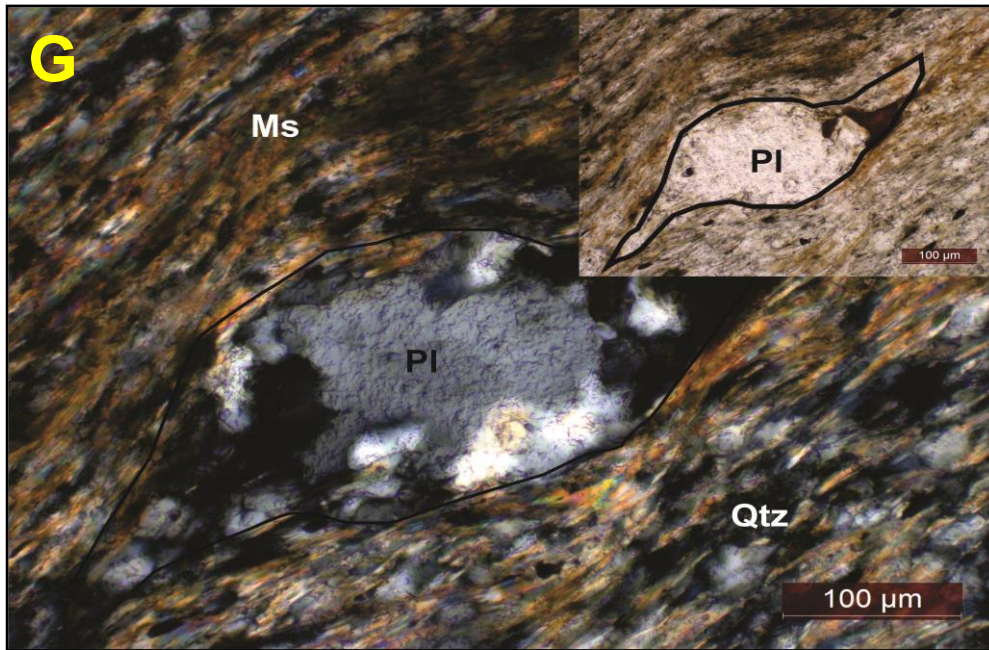
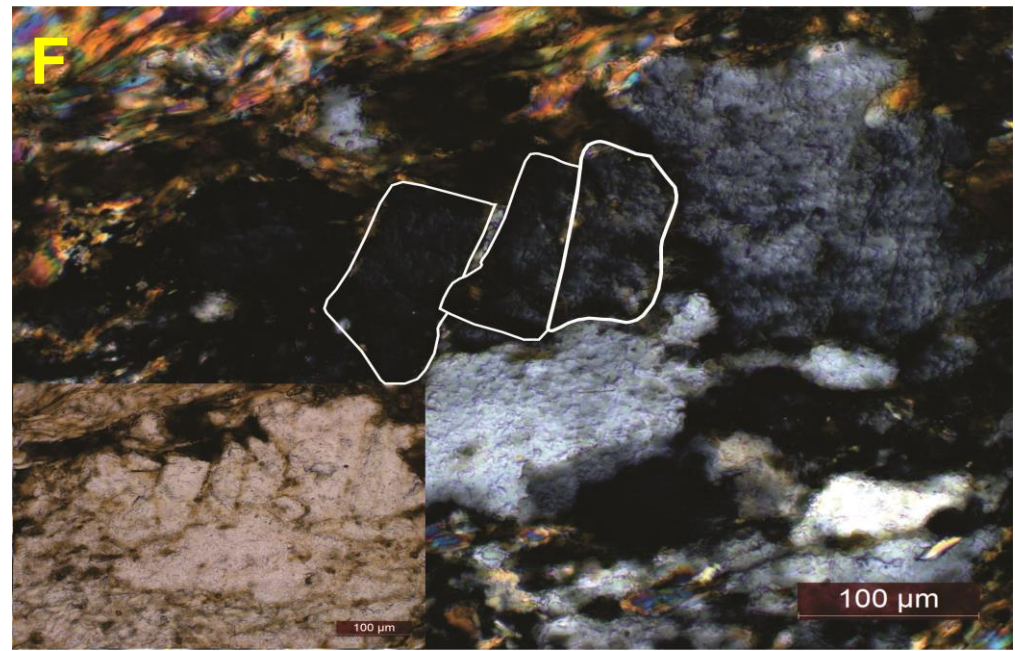
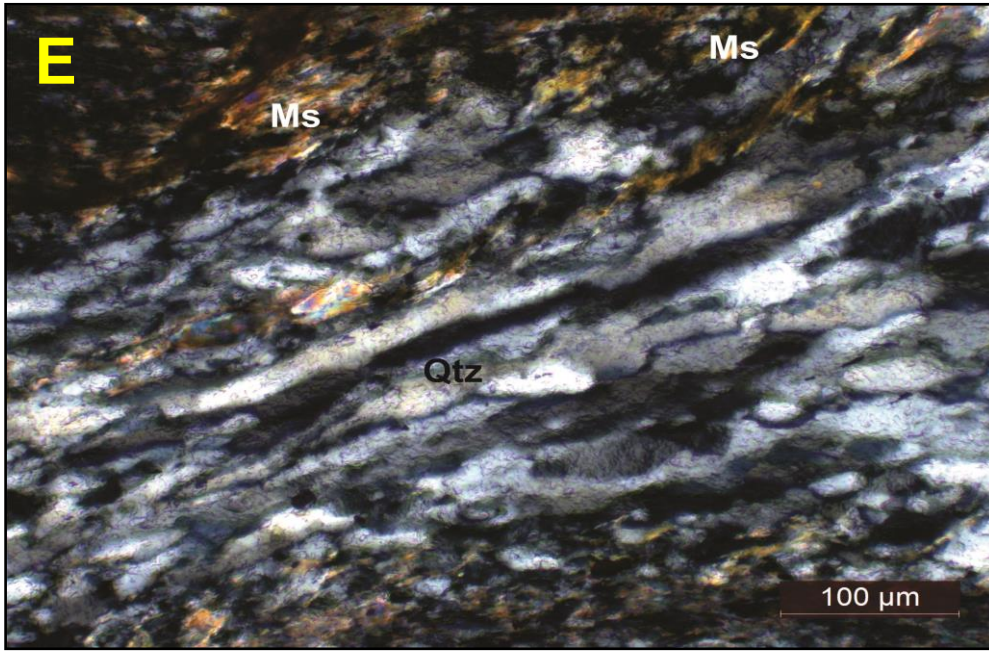
**Figura 28. Microfotografías: evidencias de metamorfismo retrogrado.** A: Cloritización del granate en esquistos cuarzo-muscovítico con granate, muestra DL 5-1; B: Alteración de biotita a clorita en esquistos cuarzo-muscovítico, muestra DL 10-2; C-D: Sericitización de la plagioclasa en esquistos muscovítico-cuarzosos, muestra DL 8-1. (A-B) nicoles paralelos, (C-D) nicoles cruzados, recuadro: A nicoles cruzados.



**Figura 29. Microfotografías: evidencia de metamorfismo dinámico.** A: Evidencia de cataclasis en la muestra DL 18-1; B: Textura milonítica, muestra DL 4-2; C: Recristalización de cuarzo, muestra DL 4-1; D: Recristalización de plagioclasa, muestra DL 3-1A. (A-B-C-D) nicoles cruzados. (A: Cataclasita, B-C-D: Milonitas).



**Figura 30. Continuación microfotografías: evidencia de metamorfismo dinámico.** **E:** Recristalización de cuarzo formando cintas del mineral, muestra DL 4-1; **F:** Porfidoblastos en forma de domino, muestra DL 18-1; **G:** Porfidoblastos de plagioclasa posiblemente tipo delta, muestra DL 4-2; **H:** Mica tipo "fish", muestra DL 4-2. (E-F-G-H) nicoles cruzados, recuadros F-G: nicoles paralelos. (E-G-H: Milonitas; F: Cataclasita)



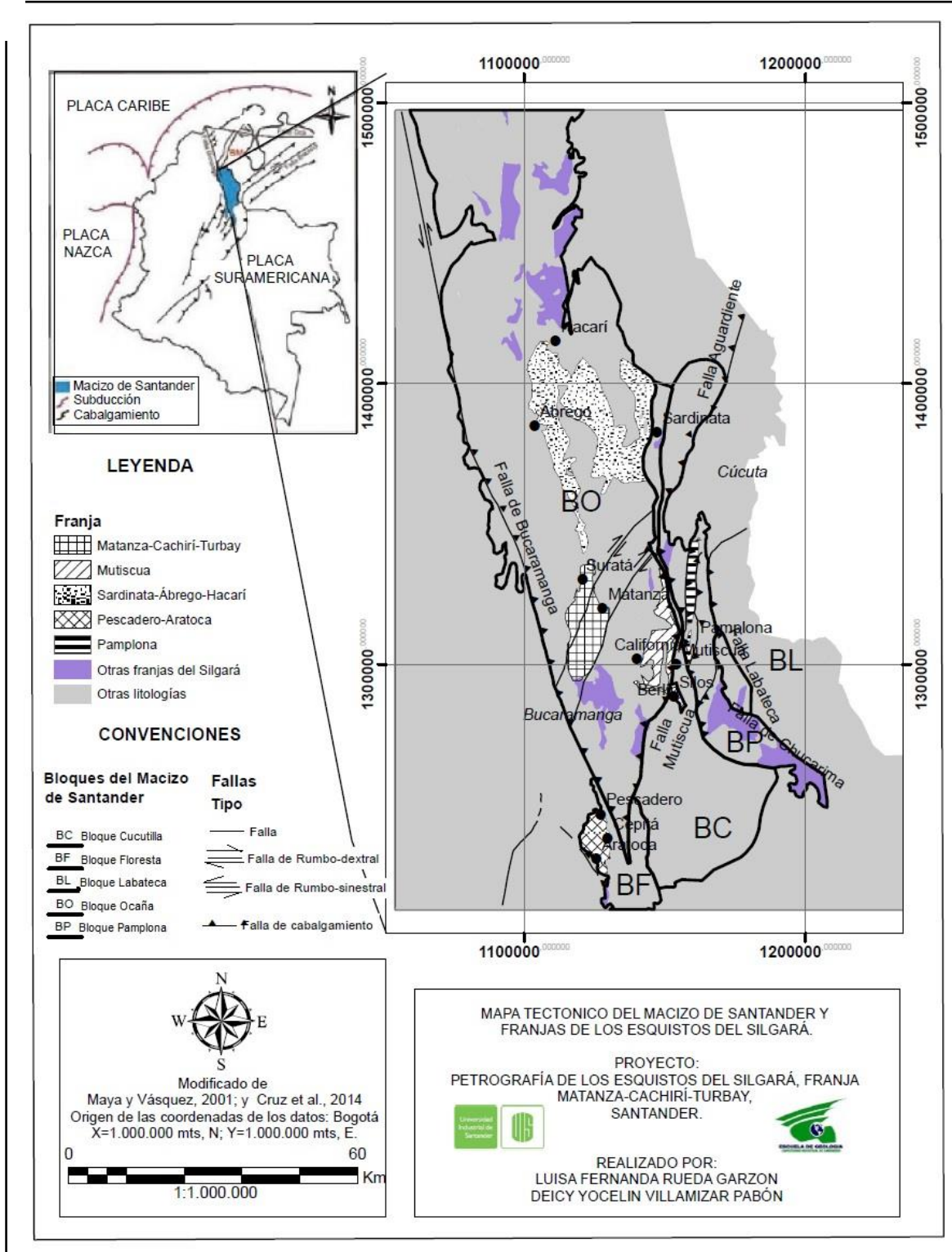
## 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN OTRAS FRANJAS DEL MACIZO DE SANTANDER.

El estudio comparativo de las diferentes franjas en las cuales afloran las rocas de los Esquistos del Silgará en el Macizo de Santander se realizó con el propósito de entender mejor esta unidad. Esta comparación se basó en los trabajos publicados y los cuales se relacionan en el capítulo de Antecedentes del presente trabajo (página 27). En la *figura 32* se presentan las principales características litológicas y las condiciones de metamorfismo de cada franja.

De acuerdo con Clavijo *et al.* (1993), Clavijo (1994), Royero y Clavijo (2001) los Esquistos del Silgará se ubican en la provincia tectonoestratigráfica del Macizo de Santander la cual presenta un fallamiento inverso con dirección predominante N-S, que ocasiona la división de la misma en 5 bloques tectónicos (*figura 31*): bloque Floresta, Ocaña, Cucutilla, Pamplona y Labateca; dentro de los bloques Floresta, Ocaña y Pamplona se encuentran distribuidos los afloramientos pertenecientes a los Esquistos del Silgará.

Litológicamente los Esquistos del Silgará se caracterizan por la predominancia de rocas pelíticas, seguido de semipelíticas y en menor proporción se presentan psamitas, carbonatadas, calcosilicatadas, silicatadas-carbonáticas y máficas. Las franjas Matanza-Cachirí-Turbay, Sardinata-Abrego-Hacarí y Pamplona presentan secuencias litológicas similares, ya que se componen principalmente de pelitas y semipelitas. En la franja Pescadero-Aratoca se destaca la presencia de rocas máficas y la franja Mutiscua presenta mayor variedad litológica, compuesta por rocas pelíticas, psamitas, carbonatadas, calcosilicatadas, silicatadas-carbonáticas. La franja Silos-Babega presenta una litología similar a la franja de Mutiscua, mientras en Berlín, se encuentran intercalaciones de rocas pelíticas y semipelíticas.

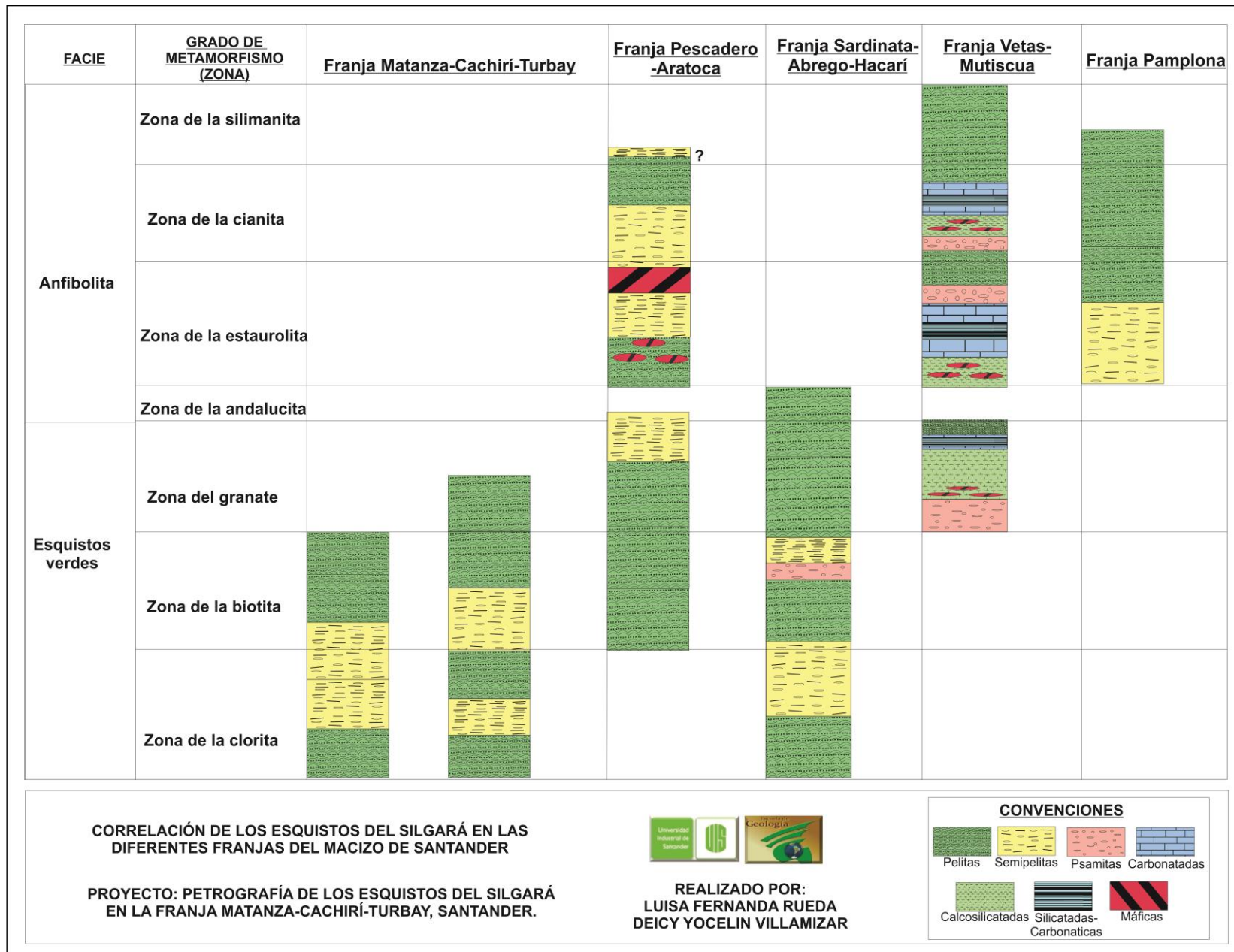
Figura 31. Mapa tectónico del Macizo de Santander y franjas de los Esquistos del Silgará.



Modificado de Maya y Vásquez, 2001; Cruz et. al (2014)

Los Esquistos del Silgará han sido afectados por un metamorfismo regional tipo Barrow y Buchan o Abukuma (para la franja Sardinata-Abrego-Hacarí). Posteriormente de manera local, se sobreimpone un metamorfismo de contacto en la zona Sardinata-Abrego-Hacarí (facies anfíbol y piroxeno-corneana ) y un metamorfismo dinámico en las regiones de Matanza-Cachirí-Turbay y Mutiscua; la secuencia zonal para estas rocas (clorita-biotita-granate-andalucita-estaurolita-cianita-silimanita) se basa en García (2007); en las diferentes franjas se observa que esta secuencia zonal se presenta de manera incompleta, en Pescadero-Aratoca está ausente la zona de la clorita, mientras la zona de la silimanita aún no está bien definida y podría ser la transición. En Sardinata-Abrego-Hacarí no se presentan las zonas de la cianita, la estaurolita y silimanita, pero si se encuentra la zona de la andalucita, desarrollada un metamorfismo de presiones bajas (menores a 3.7Kb), permitiendo establecer un metamorfismo de grado medio en relación con las otras franjas; en la franja Mutiscua la secuencia de más bajo grado corresponde a la zona del granate y finaliza en la zona de la silimanita, indicando un metamorfismo de grado alto. En la faja Pamplona solamente aflora la zona de la estaurolita-cianita y la transición a la silimanita, asociándose, al igual que la franja Mutiscua, a un metamorfismo de alto grado; contrario a la franja Matanza-Cachirí-Turbay donde únicamente se observa la parte inferior de la zona del granate de la facies esquistos verdes al norte de la zona de estudio.

Figura 32. Características de las diferentes franjas de los Esquistos del silgará.



## 11. DISCUSIÓN

Las rocas metamórficas aflorantes en el área Matanza-Cachirí-Turbay son de composición pelítica y semipelítica. Las paragénesis en estas rocas indican que el pico metamórfico se alcanzó en condiciones de la parte baja de la zona del granate en facies esquistos verdes, lo cual de acuerdo con Spear (1993) indicaría temperaturas cercanas a 440°C y presiones entre 2-3,7 Kbares. Sin embargo, la ocurrencia de rocas con granate está restringida a la zona norte del área de estudio (vía Cachirí-Turbay) y este mineral aparece en esquistos cuarzo-muscovíticos (muestra DL 5-1). La gran mayoría de rocas son de bajo grado metamórfico (la zona de la clorita y biotita). Se trató de trazar las isogradas de metamorfismo, sin embargo, dado la baja densidad del muestreo debido a la existencia de sectores con acceso muy difícil o terreno cubierto. Nuestros datos preliminares no concuerdan totalmente con los presentados por Ward *et al.*, 1973. Estos autores cartografiaron las isogradas silimanita-andalucita, andalucita-biotita, biotita-clorita, clorita-biotita y biotita-clorita, de sur a norte para el sector de estudio. Las isogradas de mayor grado metamórfico reportadas por Ward *et al.*, 1973 son silimanita-andalucita, estas condiciones de metamorfismo no se encontraron en las muestras recolectadas y analizadas en el presente estudio. Las rocas estudiadas en gran parte corresponden a la descripción inicial que Ward *et al.*, 1973 realizan cuando se definió como Formación Silgará. El análisis comparativo de las rocas estudiadas con las demás franjas donde afloran los Esquistos del Silgará indica que la zona de estudio es la de menor grado en el Macizo de Santander (*ver figura 32*). De acuerdo con esto, y considerando a los Esquistos del Silgará tal como se han definido y cartografiado las rocas pelíticas y semipelíticas de la zona de estudio representarían el “techo” o la parte superior de esta secuencia metamórfica. En esta franja también se evidencia un metamorfismo retrogrado, lo cual ha sido encontrado en otras franjas de los Esquistos del Silgará, características como está y la similitud con la definición

inicial dada por Ward *et al.*, 1973 para estos esquistos permite afirmar que las rocas encontradas en esta área corresponden a los Esquistos del Silgará. Sin embargo, los últimos estudios adelantados en las rocas de los Esquistos del Silgará muestran gran heterogeneidad en cuanto a la litología y al grado de metamorfismo, lo cual pone en duda si realmente lo definido como Formación o Esquistos del Silgará corresponden a una misma unidad litodémica producto del evento metamórfico regional Caparonesis; o parte de estas rocas se deben a eventos metamórficos posteriores evidenciados, en el área de estudio, por la formación de biotita a partir de clorita en rocas donde se encuentran porfidoblastos de granate alterados a clorita, y por un metamorfismo dinámico sobreimpuesto. Esta heterogeneidad también podría ser explicada debido a la tectónica regional, lo cual es necesario definir mejor a la luz de estudios geocronológicos y tecto-metamórficos regionales en el contexto de los Andes del Norte.

## 12. CONCLUSIONES

- Los Esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay se componen principalmente de rocas pelíticas como esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate y filitas, y rocas semipelíticas asociadas con esquistos muscovítico-cuarzosos y metawacas. Las principales texturas identificadas para estas rocas son: lepidogranoblástica, granolepidoblástica, porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, cataclástica y milonítica.
- El metamorfismo predominante es regional con un metamorfismo dinámico sobreimpuesto, asociado a fallas de carácter regional (Falla de Suratá) y local que hacen parte del Sistema fallado Suratá-Arboledas.
- Las paragénesis determinadas en las rocas pelíticas son para la zona de la clorita: muscovita + clorita + cuarzo  $\pm$  plagioclasa  $\pm$  feldespato potásico, muscovita + clorita + cuarzo; zona de la biotita: muscovita + biotita + epidota, muscovita + cuarzo + biotita; zona del granate: clorita + muscovita + cuarzo, muscovita + cuarzo + biotita, muscovita + granate + cuarzo. Mientras que para las semipelitas son en la zona de la clorita: muscovita + cuarzo + plagioclasa + feldespato potásico + clorita  $\pm$  epidota, muscovita + cuarzo + plagioclasa + feldespato potásico  $\pm$  clorita; zona de la biotita: muscovita + biotita + cuarzo + plagioclasa, muscovita + biotita + cuarzo  $\pm$  plagioclasa  $\pm$  feldespato potásico, condiciones de metamorfismo.
- El pico metamórfico se alcanzó en condiciones de la parte baja de la zona del granate en la facies esquistos verdes. Las condiciones de este pico metamórfico de acuerdo con Spear (1993), ocurrió a aproximadamente 420-440°C. la paragénesis del pico metamórfico es muscovita + granate + cuarzo.

- Las condiciones P-T del metamorfismo de acuerdo con los litotipos y las paragénesis minerales y de acuerdo con lo establecido por Spear, 1993 serian: T : 350-440°C y P: 2-3,7 Kbares.
- El estudio comparativo realizado en el Macizo de Santander donde afloran los Esquistos del Silgará muestra una predominancia de rocas pelíticas y semipelíticas, en menor proporción se encuentran psamitas, rocas carbonatadas, calcosilicatadas y máficas. No obstante, el análisis indica que las secuencias estudiadas en las diferentes franjas no están completas. Ejemplo: rocas carbonatadas y calcosilicatadas son relativamente abundantes en la franja Mutiscua y Silos-Babega, pero están ausentes en Pescadero-Aratoca y Matanza-Cachiri, Sardinata-Abrego. En relación con el grado de metamorfismo se encuentran diferencias asi: Matanza-Cachirí-Turbay de muy bajo a bajo grado, Sardinata-Ábrego-Hacarí de grado medio-bajo, Pescadero-Aratoca de grado medio, Pamplona y Mutiscua de grado alto.

### 13. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la ejecución de otras transversas en el área de Matanza-Cachirí-Turbay para realizar muestreos con mayor densidad y poder conocer mejor la distribución de los minerales indicadores de metamorfismo.
- Evaluar las condiciones cuantitativas P-T mediante la geotermobarometría.
- Desarrollar estudios tectonoestratigráficos, geocronológicos, termocronológicos, entre otros, con el fin de determinar las condiciones de formación del protolito de los Esquistos del Silgará, definir las edades de sedimentación y metamorfismo, y las condiciones de la evolución tectonometamórfica de la franja Matanza-Cachiri-Turbay, al igual que en las otras franjas donde afloren rocas asignadas a esta unidad.

## BIBLIOGRAFÍA

AMAYA, Sergio. Caracterización Petrográfica y Petroológica de las Migmatitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamentos de Norte de Santander y Santander. Tesis de Magister en Ciencias-Geología. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento Geociencias, 2012. 130p.

ARENAS, José Enrique. Litología y petrología de las metamorfitas carbonatadas y metasedimentitas asociadas de la Formación Silgará, Faja noroeste de Mutiscua (Macizo de Santander), Norte de Santander. Trabajo de grado Geólogo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias, 2004. 261p.

ARIAS, A. y VARGAS, R. Geología del Cuadrángulo G-12 Abrego, Departamento de Norte de Santander. Bucaramanga: INGEOMINAS, 1978. 55p.

ÁVILA, Guillermo Antonio y GÓMEZ, Sergio Iván. Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Central del Macizo de Santander. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 2006. 117p.

BARRAGÁN, Mario Fernando y MONTENEGRO, Gustavo Adolfo. Caracterización y evolución del metamorfismo en el área comprendida entre los Municipios de Vetas y Mutiscua. Macizo de Santander, Colombia. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 1999. 92p.

BOINET, T; BOURGOIS, J; BELLON, H; TOUSSAINT, J. Age et repartition du magmatism Premesoziouque des Andes de Colombie, Citado por MANTILLA, Luís Carlos; VALENCIA, Victor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfíricos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2009, vol.31, no.1, p. 31-43.

BRODIE, K; FETTES, D; HARTE, B. and SCHMID, R. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 3. Structural terms including fault rock terms. SCMR-IUSG, 2007. 14p.

CAMPOS, Nelson Orlando. Estudio mineralógico y petrográfico de las metamorfitas al Occidente de Mutiscua, Norte de Santander. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 1998. 140p.

CASTELLANOS, Oscar Mauricio. Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca, Santander. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 1999. 134p.

CASTELLANOS, Oscar Mauricio; RÍOS, Carlos Alberto and TAKASU, Akira. A new approach on the tectonometamorphic mechanisms associated with P–T paths of the Barrovian-type Silgará Formation at the Central Santander Massif Colombian Andes. En: Earth Sciences Research Journal, December, 2008. vol.12, no. 2, p. 125-155.

CAVIEDES, Marco Aurelio y GOMEZ, Rafael Enrique. Petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Central del Macizo de Santander. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga:

Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 2006. 96p.

CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander, Memoria explicativa. Bucaramanga: INGEOMINAS, 1994. 47p.

COMISIÓN NORTEAMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA. Código Estratigráfico Norteamericano. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. 48 p.

CRUZ, Nataly; CARRILLO, José y MANTILLA, Luís Carlos. Consideraciones petrogenéticas y geocronología de las rocas ígneas porfiríticas aflorantes en la Quebrada Ventanas (Municipio Arboledas, Norte de Santander, Colombia): Implicaciones metalogenéticas. En: Boletín de Geología. Enero-junio, 2014, vol.36, no.1, p. 103-118.

DÖRR, W; GRÖSSER, J.R; RODRIGUEZ, G.I. and KRAMM, U. Zircon U-Pb age of the Páramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. En: Journal of South American Earth Sciences. 1995, vol.8, no.2, p. 187-194.

ETAYO, Fernando; RENZONI, Giancarlo y BARRERO, Dario. Contornos sucesivos del mar Cretáceo en Colombia. En: Primer Congreso Colombiano de Geología. Memorias. Bogotá: 1976, p. 217-252.

GARCÍA, Carlos Alberto y CAMPOS, Nelson Orlando. Composición química y mineralógica de las biotitas metamórficas del sector Central del Macizo de Santander, Colombia. En: Boletín de Geología. Julio-Diciembre, 2000, vol.22, no.37, p. 18-27.

GARCÍA, C. y RÍOS, C. Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (COLOMBIA), Citado por RÍOS, Carlos Alberto y GARCÍA, Carlos Alberto. Primera ocurrencia de los tres polimorfos de  $Al_2O_3$  en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2001, vol.23, no.38, p. 51-59.

GARCÍA, Carlos Alberto; RÍOS, Carlos Alberto y CASTELLANOS, Oscar Mauricio. Medium-pressure metamorphism in the central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. En: Boletín de Geología. Julio-Diciembre, 2005, vol.27, no.2, p. 43-68.

GARCÍA, Carlos Alberto. Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2007. 88p.

GOLDSMITH, Richard; MARVIN, Richard and MEHNERT, Harald. Radiometric ages in the Santander Massif eastern Cordillera, Colombian Andes. En: U.S Geological Survey Professional Paper. 1971, vol.750-A, p. D44-D49.

GÓMEZ, Jorge; NIVIA, Álvaro; MONTES, Nohora; JIMÉNEZ, Diana; SEPÚLVEDA, Janeth; GAONA, Tatiana; OSORIO, Jairo; DIEDERIX, Hans; MORA, Myriam y VELÁSQUEZ, Martha. Atlas Geológico de Colombia, Plancha 5-06. Escala 1:500.000. Bogotá: INGEOMINAS- Servicio Geológico Colombiano, 2007.

GUIDOTTI, C.V. Micas in metamorphic rocks, Citado por TISCHENDORF, G; FÖRSTER, H; GOTTESMANN, B. and RIEDER, M. True and brittle micas: composition and solid-solution series. En: Mineralogical Magazine, June 2007, vol.71, no.3, p. 285-320.

GUTIÉRREZ, Claudia Patricia. Petrografía y mineralogía de las formaciones Silgará y Ortoneis en el área de Pamplona (Norte de Santander). Trabajo de grado

Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 2001. 173p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Planchas No 97-IV-D, 98-III-C, 109-II-D, 109-IV-D, 110-I-A, 110-I-C y 110-III-A. Escala 1:25.000. IGAC, 1982.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Mapa de zonificación climática de Colombia. Escala 1:7.500.000. IGAC, 2012.

JULIVERT, M. y TÉLLEZ, N. Sobre la presencia de fallas de edad Precretácica y post-Girón en el flanco W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia), Citado por: ROYERO, J. M. y CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado, departamento de Santander, Memoria explicativa. INGEOMINAS, 2001. 92p.

KAMMER, Andreas y MOJICA, Jairo. Una comparación de la Tectónica de Basamento de las Cordilleras Central y Oriental. En: Geología Colombiana, 1996, no.20, p. 93-106.

LOZANO, Rufino y BERNAL, Juan Pablo. Composición química, clasificación y caracterización de los minerales del grupo de las cloritas. En: Boletín de Mineralogía, 2005, vol.16, p. 1-20.

MANTILLA, Luís Carlos; ORDÓÑEZ, Juan Carlos; CEPEDA, Sergio y RÍOS, Carlos Alberto. Estudios de los paleofluidos en la Formación Silgará y su relación con procesos de deformación. Sector Aratoca-Pescadero (SW del Macizo de Santander). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2001, vol.23, no.38, p. 69-75.

MANTILLA, Luís Carlos; RÍOS, Carlos Alberto y CASTELLANOS, Oscar Mauricio. Estudio del proceso de rehidratación de las rocas metamórficas de la Formación Silgará a partir del análisis composicional de la clorita, región suroccidental del

Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2002, vol.24, no.39, p. 7-17.

MANTILLA, Luís Carlos; RÍOS, Carlos Alberto; GÉLVEZ, Jaime Ricardo; MÁRQUEZ, Roberto Emilio; ORDÓÑEZ, Juan Carlos y CEPEDA, Sergio. Nuevas evidencias acerca de la presencia de una banda de cizallamiento en la secuencia metapelítica de la Formación Silgará, sector Aratoca-Pescadero (Región Suroccidental del Macizo de Santander). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2003, vol.25, no.40, p. 81-89.

MANTILLA, Luís Carlos; VALENCIA, Victor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2009, vol.31, no.1, p. 31-43.

MARTHUR, R; RUIZ, J; HERB, P; HAHN, L. and BURGATH, P. Re-Os isotopes applied to epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia, Citado por MANTILLA, Luís Carlos; VALENCIA, Victor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2009, vol.31, no.1, p. 31-43.

MAYA, M. Distribución, facies y edad de las rocas metamórficas en Colombia. Colombia: INGEOMINAS. 2001, 59p.

MAYA, Mario y VÁSQUEZ, Edgar. Mapa Metamórfico de Colombia. Escala 1:1.000.000. Bogotá: INGEOMINAS, 2001.

NIETO, F. Determinación de cloritas en rocas metamórficas de bajo grado mediante propiedades ópticas. En: Cuadernos de Geología, 1985, vol.12, p. 5-15.

NIÑO, Diana Carolina. Metamorfismo de la Formación Silgará en el sector Sardinata-Ábrego-Hacarí, Región Norte del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012. 120p.

NÚÑEZ, A. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia Filitas y Esquistos de Busbanzá. Bogotá: INGEOMINAS, 2000, 21p.

PASSCHIER, Cees and TROW, Rudolph. Microtectonics. 2<sup>nd</sup> Edition. Berlín: Springer-Verlag, 2005. 372p.

POLANIA, J.H. Die Uranvorkommen von California be Bucaramanga (Kolumbien), Citado por MANTILLA, Luís Carlos; VALENCIA, Victor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2009, vol.31, no.1, p. 31-43.

RESTREPO-PACE, Pedro; Ruiz, Joaquin; GEHRELS, George and COSCA, Michael. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-ages rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. En: Earth and Planetary Science Letters. 1997, vol.150, p. 427-441.

RÍOS, Carlos Alberto. Ocurrencia, composición química y significado genético de la biotita en las rocas metamórficas de la Formación Silgará en la región suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2001, vol.23, no.38, p. 41-49.

RÍOS, Carlos Alberto y GARCÍA, Carlos Alberto. Primera ocurrencia de los tres polimorfos de Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región

Suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2001, vol.23, no.38, p. 51-59.

RÍOS, Carlos Alberto; GARCÍA Carlos Alberto and TAKASU Akira. Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. En: Journal of South American Earth Sciences, 2003, vol.16, p. 133-154.

RÍOS, Carlos Alberto; GÉLVEZ, Jairo; MÁRQUEZ, Robert y CASTELLANOS Oscar Mauricio. Cinética de la nucleación y el crecimiento del granate en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2003, vol.24, no.40, p. 23-38.

RÍOS, Carlos Alberto; CASTELLANOS, Oscar Mauricio and TAKASU, Akira. A new interpretation for the garnet zoning in metapelitic rocks of the Silgará Formation, Southwestern Santander Massif, Colombia. En: Earth Sciences Research Journal. June, 2008, vol.12, no.1, p. 7-30.

RÍOS, Carlos Alberto; CASTELLANOS, Oscar Mauricio and TAKASU, Akira. X-ray color maps of the zoned garnets from Silgará Formation metamorphic rocks Santander Massif, Eastern Cordillera (Colombia). En: Earth Sciences Research Journal. December, 2010, vol.14, no.2, p. 161-172.

ROBERTSON, S. BGS Rock classification scheme, classification of metamorphic rocks. Nottingham: British Geological Survey, 1999. Volume 2. Report number RR 99-02, 26p.

ROYERO, J. M. y CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado, departamento de Santander, Memoria explicativa. INGEOMINAS, 2001. 92p.

SCHMID, R; FETTES, D; HARTE, B; DAVIS, E; DESMONS, J; MEYER-MARSILIUS, H-J and SIIVOLA, J. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. SCMR-IUGS, 2004. 19p.

SHÄFER, J; GRÖSSER, J.R. and RODRÍGUEZ, G.I. Proterozoic Formación Silgará, Cordillera Oriental, Colombia: metamorphism and geochemistry of amphibolites. En: Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, 1997, Teil I, vols.3-6, p. 531–546.

SIIVOLA, J and SCHMID, R. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 12. List of Mineral Abbreviations. SCMR-IUGS, 2007. 14p.

SILVA, J.C; SIAL, A.N; FERREIRA, V.P; ARENAS, J.E and JIMENEZ, D.M. C-Isotope stratigraphy of some Ediacaran-Cambrian carbonate successions in NW Gondwana. Reunión Nacional Ciencias de la Tierra (4). Memorias. México, 2004. p. 327-331.

SPEAR, F. The Metamorphism of pelites. En: Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Washington: Mineralogical Society of America, 1993. p. 337-391.

TROUW, Rudolph; PASSCHIER, Cees and WIERSMA, Dirk. Atlas of mylonites and related microstructures. Berlín: Springer-Verlag, 2010. 305p.

VARGAS, Rodrigo y ARIAS, Alfonso. Mapa geológico del cuadrángulo G-12, Abrego. Escala 1:100.000. Bogotá: INGEOMINAS, 1978.

VAN DER LELIJ, Roelant. Reconstructing north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. Tesis de Doctorado en ciencias, mención en Ciencias de la Tierra. Ginebra: Faculté des Sciences, Université de Genève, 2013. 248 p.

WARD, D; GOLDSMITH, R; CRUZ, J; JARAMILLO, C y RESTREPO, H. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander, Memoria explicativa. Bogotá: U.S. Geological Survey e INGEOMINAS, 1973. 132p.

WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; JIMENO, Andrés; CRUZ, Jaime; RESTREPO, Hernán y GOMÉZ, Eduardo. Mapa geológico del cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Escala 1:100.000. Bogotá: U.S. Geological Survey e INGEOMINAS, 1977.

WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; JARAMILLO, Luis y VARGAS, Rodrigo. Geología del Cuadrángulo Pamplona H-13. Escala 1:100.000. Bogotá: U.S Geological Survey e INGEOMINAS, 1977.

YARDLEY, B., MACKENZIE, W. y GUILFORD, C. Atlas de rocas metamórficas y sus texturas. Barcelona: Masson, 1997. 120p.

## **ANEXOS**

Los anexos se encuentran adjuntados en la carpeta con el mismo nombre, dentro de esta se encuentran las carpetas: Anexo A con el archivo “Catálogo muestras macroscópicas” .xls y la carpeta “Fotos muestras macroscópicas”; Anexo B con el archivo “Descripciones de muestras en sección delgada pertenecientes a los Esquistos del Silgará franja Matanza-Cachirí-Turbay” y la carpeta Anexo C donde se encuentran los archivos “Mapa geológico y zonas metamórficas del área de estudio” .cdr y .pdf.