

METAMORFISMO DE LA UNIDAD ESQUISTOS DEL SILGARÁ DEL MACIZO DE
SANTANDER, EN EL SECTOR DE SILOS – NORTE DE SANTANDER

LUISA CASADIEGOS AGUDELO

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

2017

METAMORFISMO DE LA UNIDAD ESQUISTOS DEL SILGARÁ DEL MACIZO DE
SANTANDER, EN EL SECTOR DE SILOS – NORTE DE SANTANDER

LUISA CASADIEGOS AGUDELO

Tesis de grado para optar al título de Geóloga

Director

CARLOS ALBERTO GARCÍA RAMÍREZ

Geólogo, PhD

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

2017

DEDICATORIA

*A Dios primeramente, porque todo se lo debo a Él.
A mi familia, en especial a mis padres Ricaurte Casadiego Osorio y
Flor Mary Agudelo Murcia por ser el motor que impulsa mis sueños
y a mis hermanos Richar y Heres por ser el ejemplo vivo de la
superación y el éxito.*

*A mis amigos, por su apoyo incondicional.
A mis compañero y futuros colegas, porque de cada uno pude tomar
lo mejor.*

AGRADECIMIENTOS

A mi director de proyecto, el profesor Carlos Alberto García Ramírez por su compromiso, apoyo y acompañamiento en todas las fases del proyecto.

Al laboratorio de preparación de muestras geológicas de la Universidad Industrial de Santander y a Luis Eduardo Garrido por su colaboración.

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 GIGBA de la Universidad Industrial de Santander – Parque Tecnológico de Guatiguará y su personal de trabajo.

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

A las personas del municipio de Silos-Bábega de Norte de Santander por su amabilidad y disposición para llevar a cabo la fase del campo del proyecto.

A los estudiantes de campo II de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander de los periodos 2009-I, 2014-I, 2015-I y 2015-II.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. GENERALIDADES	20
2.1 LOCALIZACIÓN.....	20
2.2 GEOMORFOLOGÍA.....	22
2.3 DRENAJES.....	24
3. METODOLOGÍA.....	25
3.1 PRIMERA ETAPA: PRE-CAMPO	25
3.2 SEGUNDA ETAPA: TRABAJO DE CAMPO	25
3.3 TERCERA ETAPA: LABORATORIO	26
3.3.1 Preparación de muestras y elaboración de secciones delgadas	26
3.3.2 Análisis petrográfico.....	26
3.4 CUARTA ETAPA: OFICINA	27
3.5 QUINTA ETAPA: REDACCION Y ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL.....	27

4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	29
5. ESTADO DEL ARTE.....	33
6. GEOLOGÍA LOCAL	42
6.1 LITOESTRATIGRAFÍA.....	42
6.1.1 Esquistos del Silgará:	42
6.1.2 Ortoneis:	43
6.1.3 Floresta Metamorfoseada:	43
6.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	45
6.2.1 Falla de la Cuchilla de Socotá:.....	45
6.2.2 Falla de Cherquetá o Falla de Angosturas:.....	45
6.2.3 Falla Quebrada la Honda o Falla de Mutiscua:	46
6.2.4 Falla Quebrada la Estancia:.....	46
6.2.5 Falla las Tapias:.....	46
6.2.6 Falla de Bábeaga:.....	46
6.2.7 Falla el Chorro el Avenal, Doña Ángela, Ojo de Agua y Nororiental:	48
6.2.8 Falla Quebrada Vichagá:	48
6.2.9 Falla del Río Cáraba:	48
7. PETROGRAFÍA	50
7.1 ROCAS META-PELITICAS.....	57
7.1.1 Filitas con cloritoide (Muestras: SB-94 y SB-127):.....	57
7.1.2 Esquistos muscovíticos con cloritoides (Muestras: SB-161):.....	60

7.1.3 Esquistos cuarzo-micáceos (Muestras: SB-5, SB-6 y SB-132):.....	63
7.1.4 Esquistos micáceos con estaurolita y granate (Muestras: SB-17, SB-18, SB-19, SB-28, SB-69, SB-70, SB-82, SB-152, SB-153 y SB-168)	68
7.2 ROCAS META-SEMIPELITICAS	77
7.2.1 Esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita (Muestras: SB-30, SB-42 y SB-48):.....	77
7.2.2 Esquistos micáceo-cuarzosos con cianita (Muestras: SB-22, SB-58, SB-88, SB-73 y SB-126):	82
7.2.3 Esquistos micáceo-cuarzosos con granate (Muestras: SB-59, SB-105 y SB-172):.....	88
7.2.4 Cuarcita biotítica con granate (Muestras: SB-71):	94
7.2.5 Cuarcita con estaurolita y granate (Muestras: SB-32):	97
7.2.6 Cuarcitas muscovíticas (Muestras: SB-12, SB-13, SB-20 y SB-131):.....	100
7.3 ROCAS META-CUARZOFELDESPATICAS.....	104
7.3.1 Cuarcitas (Muestras: SB-11 y SB-72):	104
7.4 ROCAS META-CARBONATADAS	109
7.4.1 Mármoles puros (Muestras SB-54 y SB-151):.....	109
7.4.2 Mármoles impuros (Muestras: SB-3, SB-8, SB-9, SB-56, SB-68, SB-147, SB-148, SB-149, SB-150 y SB-159):	112
7.4.3 Rocas calcosilicatadas (Muestra: SB-106):.....	117
7.4.4 Rocas silicatadas con carbonatos (Muestras: SB-144 y SB-145):.....	120
8. METAMORFISMO	126
8.1 METAMORFISMO REGIONAL.....	126
8.2 METAMORFISMO DINÁMICO	130

9. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN LAS DIFERENTES FRANJAS DEL MACIZO DE SANTANDER	131
10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	136
11. CONCLUSIONES	139
12. RECOMENDACIONES.....	143
BIBLIOGRAFÍA.....	144

TABLA FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio.....	21
Figura 2. Características geomorfológicas.....	23
Figura 3. Características de los Esquistos del Silgará.....	44
Figura 4. Principales fallas del área de estudio	47
Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio.	49
Figura 6. Subdivisión de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y mica.....	55
Figura 7. Diagrama clasificatorio de rocas meta-carbonatadas y rocas afines	56
Figura 8. Detalles de las filitas con cloritoides	57
Figura 9. Detalles de los esquistos muscovíticos con cloritoides.....	61
Figura 10. Detalles de los esquistos cuarzo-micáceos	64
Figura 11. Microfotografías de las filitas con cloritoides, los esquistos muscovíticos con cloritoides y los esquistos cuarzo-micáceos.....	67
Figura 12. Detalles de los esquistos micáceos con estaurolita y granate.	68
Figura 13. Muestra de mano de esquisto micáceo con estaurolita y granate (Muestra SB-82).....	70
Figura 14. Microfotografías de los esquistos micáceos con estaurolita y granate.	76
Figura 15. Detalles de los esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita	78
Figura 16. Detalles de los esquistos micáceo-cuarzosos con cianita	83
Figura 17. Microfotografías de los esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita y los esquistos micáceo-cuarzosos con cianita	87
Figura 18. Detalles de los esquistos micáceo-cuarzosos con granate.....	88
Figura 19. Microfotografías de los esquistos micáceo-cuarzosos con granate.....	93
Figura 20. Detalles de las cuarcitas biotíticas con granate	94
Figura 21. Detalles de las cuarcitas con estaurolita y granate	97

Figura 22. Detalles de las cuarcitas muscovíticas	101
Figura 23. Detalles de las cuarcitas muscovíticas	105
Figura 24. Microfotografías de las cuarcitas biotíticas con granate, cuarcitas con estauroлита y granate, cuarcitas muscovíticas y cuarcitas.	108
Figura 25. Detalles macroscópicos de los mármoles puros.	111
Figura 24. Detalles macroscópicos de los mármoles impuros	113
Figura 27. Detalles macroscópicos de los las rocas calcosilicatadas	118
Figura 28. Detalles macroscópicos de los las rocas silicatadas con carbonatos .	121
Figura 29. Microfotografías de las rocas meta-carbonatadas	125
Figura 30. Paragénesis minerales involucradas en los distintos eventos metamórficos.	127
Figura 31. Distribución del tamaño de granates en el área de estudio.	128
Figura 32. Mapa geológico del área de estudio con la localización de las muestras analizadas y la distribución de los minerales indicadores.	129
Figura 33. Metamorfismo dinámico a escala de afloramiento	130
Figura 34. Mapa tectónico del Macizo de Santander y franjas de los Esquistos del Silgará.....	134
Figura 35. Características de las diferentes franjas de los Esquistos del Silgará.	135

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Clasificación de rocas compuestas en su mayoría de cuarzo-mica-feldespatos.....</i>	24
<i>Tabla 2. Abreviaturas minerales usadas.....</i>	24
<i>Tabla 3. Composición mineralógica de los esquistos del Silgará en rocas metamórficas de composición pelítica, semipelítica y cuarzofeldespáticas.....</i>	42
<i>Tabla 4. Composición mineralógica de los esquistos del Silgará en rocas metacarbonatadas.....</i>	44

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Descripción Petrográfica.

ANEXO B. Mapa geológico del área de estudio con la localización de las muestras analizadas y la distribución de los minerales indicadores.

**NOTA: LOS ANEXOS DE ESTE PROYECTO PUEDEN CONSULTARSE EN
BIBLIOTECA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – SALA BASE DE
DATOS**

RESUMEN

TITULO: METAMORFISMO DE LA UNIDAD ESQUISTOS DEL SILGARÁ DEL MACIZO DE SANTANDER, EN EL SECTOR DE SILOS – NORTE DE SANTANDER^{1*}

AUTORES: CASADIEGOS AGUDELO, LUISA.^{2**}

PALABRAS CLAVE: Esquistos del Silgará, Macizo de Santander, Franja Silos-Bábega.

DESCRIPCIÓN: Los Esquistos del Silgará aflorantes en la parte centro oriental del Macizo de Santander en la franja Silos-Bábega se estudiaron mediante trabajo de campo y microscopia de luz transmitida. Estos ocurren como intercalaciones de rocas metamórficas de composiciones pelíticas, semipelíticas y cuarzofeldespáticas que comprenden filitas con cloritoides, esquistos muscovíticos con cloritoides, esquistos cuarzo-micáceos, esquistos micáceos con estaurolita y granate, esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita – cianita - granate, cuarcitas con estaurolita y granate, cuarcitas biotíticas con granate, cuarcitas muscovíticas y cuarcitas, con cuerpos discontinuos de rocas meta-carbonatadas y calcosilicatadas. Estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de medio a alto grado, alcanzando su pico metamórfico en la zona de la cianita-estaurolita de la facies anfibolita, indicada por la paragénesis $Qt \pm Pl + Bt + Grt + St \pm Ky$ a presiones entre 5.3 y 6.3Kb y temperaturas entre 570 y 620°C; otras paragénesis indican la zona de la biotita de la facies esquistos verdes. También se identifica un metamorfismo dinámico sobrepuesto que se desarrolla asociado a la alta actividad tectónica del área, causada por el sistema de fallas de tipo regional (Falla de Angosturas) y las fallas satélites asociadas.

La zonación metamórfica aquí descrita no concuerda con la reportada por Ward *et al.* (1973) ni la secuencia zonal de Castellanos-Alarcón *et al.* (2016), lo cual puede estar relacionado con el fuerte tectonismo del área que ha generado bloques separados por fallas con historias metamórficas diferentes, siendo necesario realizar estudios geotermobarométricos, geocronológicos y tectonoestratigráficos que permitan determinar la edad y los ambientes de formación para la unidad en esta área.

Los Esquistos del Silgará en las distintas franjas del Macizo de Santander (Sardinata-Abrego-Hacrí; Pescadero-Aratoca; Matanza-Cachirí-Turbay; Mutiscua; Silos; Pamplona) presentan notables diferencias en torno al grado de metamorfismo y las variedades litológicas, siendo la franja de Silos similar a la de Mutiscua.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología UIS. Director: PhD. Carlos Alberto García Ramírez.

ABSTRACT

TITLE: METAMORPHISM FROM SILGARÁ SCHIST, IN THE SECTOR OF SILOS - NORTH OF SANTANDER*

AUTHORS: CASADIEGOS AGUDELO, LUISA.^{3**}

KEYWORDS: Silgará Schist, Santander Massif, Fringe Silos-Bábega.

DESCRIPTION: The Silgará Schists in the eastern center of the Santander Massif on the Silos-Bábega border were studied by fieldwork and transmitted light microscopy. These occur as intercalations of metamorphic rocks of pelitic, semipelitic and quartz-feldspar compositions comprising phyllites with chloritoids, muscovite schists with chloritoids, quartz-micaceous schists, micaceous schists with staurolite and garnet, micaceous schists with staurolite-kyanite-granate, quartzites with staurolite and garnet, biotitic quartzites with garnet, muscovite quartzites and quartzites, with discontinuous bodies of metacarbonated and calcosilicate rocks. These rocks were affected by a regional metamorphism of half-degree, reaching their metamorphic peak in the zone of the kyanite-staurolite of the amphibolite facies, indicated by the paragenesis $Qt \pm Pl + Bt + Grt + St \pm Ky$ at pressures between 5.3 and 6.3 Kb and temperatures between 570 and 620 °C; other paragenesis indicates the biotite zone of the greenschist facies. It also identifies a dynamic metamorphism superimposed that is developed associated to the high tectonic activity of the area, caused by the regional fault system (Angosturas Fault) and the associated satellite faults.

The metamorphic zonation described here does not agree with that reported by Ward *et al.* (1973) nor the zonal sequence of Castellanos-Alarcon *et al.* (2016), which may be related to the strong tectonism of the area that has generated blocks separated by faults with metamorphic histories different, being necessary to carry out geothermobarométricos, geochronological and tectonostratigraphic studies that allow to determine the age and the forming environments for the unit in this area.

The Silgará schists in the distinct strips of the Santander Massif (Sardinata-Abrego-Hacrí, Pescadero-Aratoca, Matanza-Cachirí-Turbay, Mutiscua, Silos and Pamplona) present remarkable differences concerning the degree of metamorphism and the varieties lithologies, being the strip of Silos similar to that of Mutiscua.

* Degree Work

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

INTRODUCCIÓN

Hasta el momento han sido escasos los estudios y las actividades de carácter geológico que se han adelantado en el sector de Silos (Norte de Santander), en donde afloran las rocas pertenecientes a la unidad Esquistos del Silgará, unidad objeto de este estudio y que hacen parte del basamento cristalino del Macizo de Santander.

El presente trabajo de investigación se centra en la caracterización petrográfica de dichos esquistos aflorantes en la franja de Silos, con el fin de establecer asociaciones paragenéticas que indiquen de manera aproximada las condiciones de presión-temperatura a las que se formaron dichas rocas.

Dentro del área de estudio se identificaron rocas metamórficas pelíticas y semipelíticas que comprenden filitas con cloritoides, esquistos muscovíticos con cloritoides, esquistos cuarzo-micáceos, esquistos micáceos con estaurolita, esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita – cianita – granate, cuarcitas con estaurolita y granate, cuarcitas biotíticas con granate y cuarcitas muscovíticas; así mismo, se encontraron rocas meta-cuarzofeldespáticas y meta-carbonatadas. Las asociaciones paragenéticas indican que estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo progrado que alcanza la zona de la cianita-estaurolita en la facies anfibolita, indicada por la paragénesis $Qt \pm Pl + Bt + Grt + St \pm Ky$ a condiciones: $T= 570 - 620^{\circ}C$ y $P= 5.3 - 6.3Kb$ de acuerdo a lo definido por Spear (1995)¹ para el

¹ SPEAR, F. The Metamorphism of pelites. En: Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Washington: Mineralogical Society of America, 1995, p. 337-391.

sistema KFMASH, el cual fue afectado de manera posterior por un metamorfismo dinámico.

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

Estudiar las rocas de la unidad Esquistos del Silgará en la localidad de Silos, Norte de Santander, para conocer sus condiciones de presión-temperatura (P-T) de metamorfismo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los litotipos que conforman la unidad Esquistos del Silgará en el sector de Silos, Norte de Santander.
- Establecer las características petrográficas de los distintos litotipos.
- Determinar las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo.
- Comparar y correlacionar la franja estudiada con las demás franjas que han sido caracterizadas en trabajos anteriores.

2. GENERALIDADES

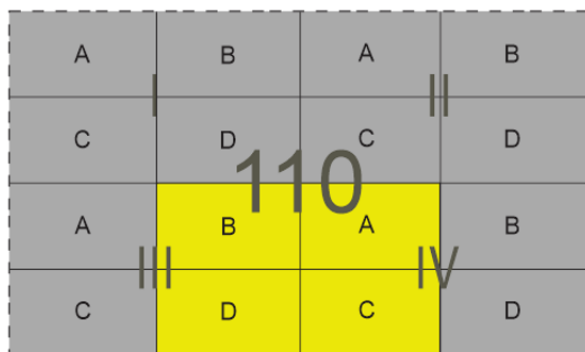
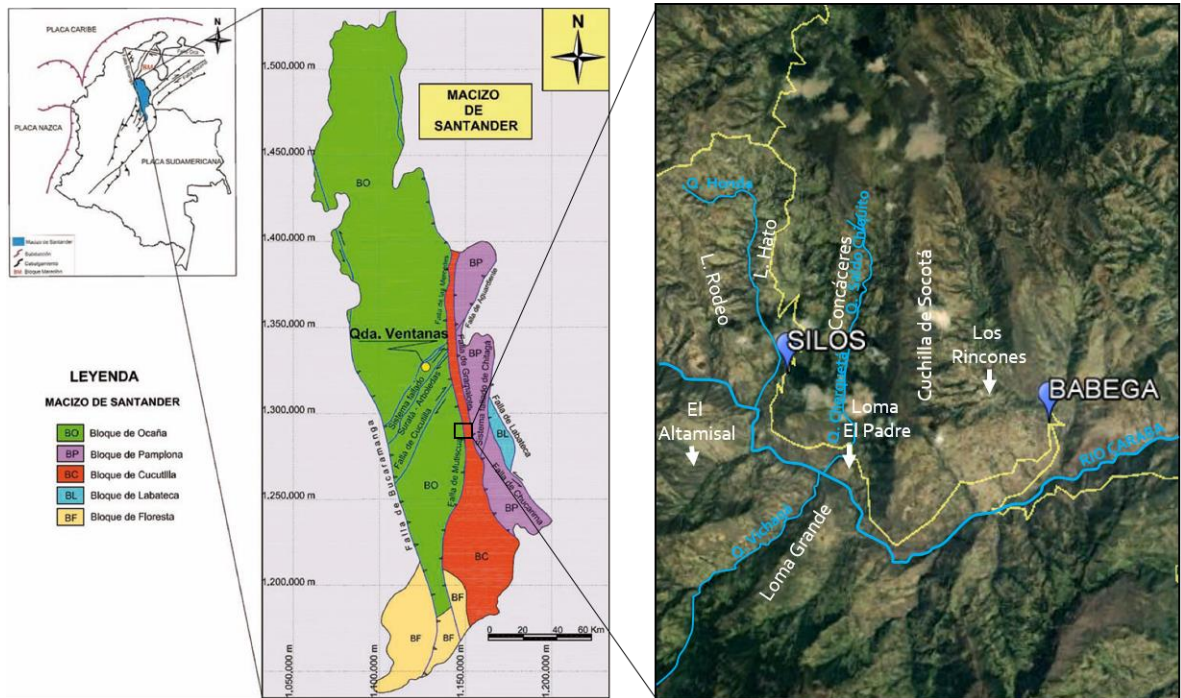
2.1 LOCALIZACIÓN

El sector de estudio tiene un área de aproximadamente 225 km² y está localizado en el departamento de Norte de Santander, entre los municipios de Silos y Bábega, hacia la parte centro oriental del Macizo de Santander entre las coordenadas X₁: 1.280.000 y X₂: 1.298.000 en el norte y Y₁:1.142.500 y Y₂: 1.155.000 en el oeste. Dicha área comprende las planchas 110-III-B, 110-III-D, 110-IV-A y 110-IV-C del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Transversa de Mercator con un falso origen de X: 1.000.000; Y: 1.000.000 (Ver Figura 1).

El estudio se centró principalmente junto a la cabecera municipal de Silos y algunos sectores cercanos a Bábega, en las localidades conocidas como Los Rincones, La Cuchilla de Socotá, Cerro Concáceres, Loma el Hato, Loma el Rodeo, Loma del Padre, Puente Caraba y el Altamisal, además de los ríos y drenajes conocidos como Río Caraba, Quebrada Cherquetá, Quebrada Salado Chiquito y Quebrada Vichagá.

En cuanto a vías de acceso, se encuentra la carretera que comunica La Laguna-Silos-Bábega como carretera principal pavimentada que atraviesa el área de estudio de norte a sur en el trayecto La Laguna-Silos y de oeste a este en el trayecto Silos-Bábega. Las demás vías corresponden a carreteables interveredales sin pavimentar y caminos de herradura.

Figura 1. Localización del área de estudio. Se muestra la localización geográfica y geológica, los lugares destacados, vías, ríos y quebradas principales, así como las planchas del IGAC involucradas.



COORDENADAS LÍMITES

Norte X_1 : 1.280.000 - X_2 : 1.298.000

Oeste Y_1 : 1.142.500 - Y_2 : 1.155.000

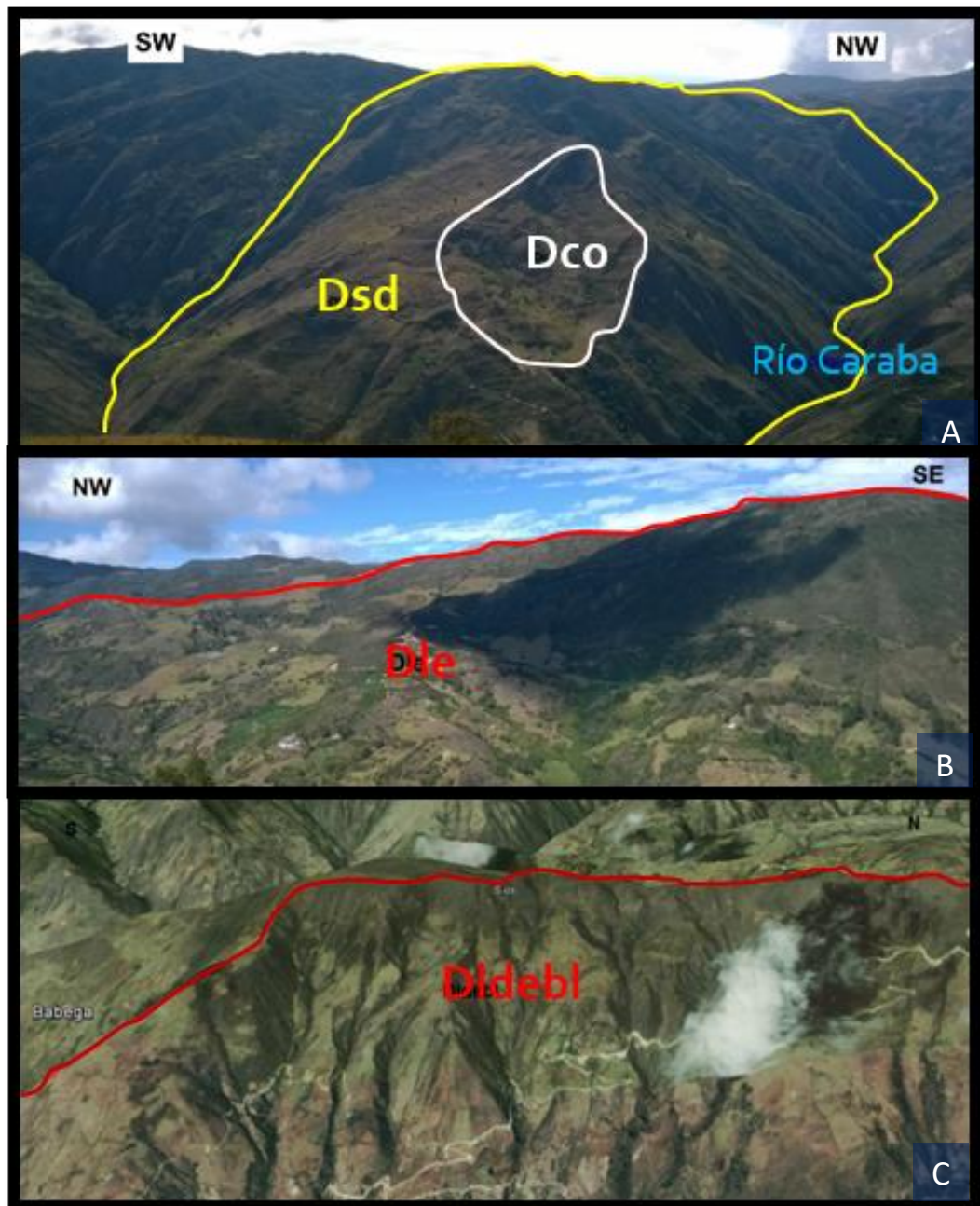
Fuente: Cruz et al. (2014) y galería de Google Earth.

2.2 GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se localiza en un sector de montaña con pendientes moderadas a altas, cuya variación topográfica es de aproximadamente 1.100 m, con alturas de 2.300 msnm en valles profundos como el del Río Caraba y 3.400 msnm en altos como la Cuchilla de Socotá.

Las geoformas encontradas en el área de estudio son principalmente de origen morfoestructural, fluvial y denudacional. Según el *Glosario Geomorfológico del Servicio Geológico Colombiano* (2014), se considera la presencia de: *Sierras denudadas*, caracterizadas por pendientes abruptas y escarpadas (16° - 45°) con laderas largas de formas cóncavas a convexas, dominadas por una red de vertientes inclinadas a muy inclinadas que forman valles en “V” abiertos y que siguen un patrón de drenaje paralelo (Ver Figura 2A); *conos y lóbulos coluviales y de solifluxión*, caracterizados por una morfología de relieve alomado, de pendiente abrupta, laderas cortas de forma convexa, generados por procesos de transporte y depositación de materiales sobre laderas y por efectos de procesos hidrogravitacionales (Ver Figura 2A); *laderas erosivas*, correspondientes a superficies de altas pendientes con longitudes largas, de forma cóncava, con drenajes de tipo subdendrítico formando canales con valles en “V” abiertos (Ver Figura 2B); *lomos denudados*, correspondiente al conjunto de lomos ubicados a diferentes alturas con índice de relieve no superior a 150 m, son alargados y presentan una dirección perpendicular a el patrón de drenaje principal (Ver Figura 2C); *sierra homoclinal*, correspondiente a una prominencia topográfica ligeramente simétrica elongada y de morfología montañosa a colinada de cimas agudas definida por una secuencia de niveles inclinados en una misma dirección (Ver Figura 2D); otras, y no de menor importancia corresponden a cauces aluviales, planicies aluviales y los depósitos aluviales y terrazas de acumulación.

Figura 2. Características geomorfológicas. **A:** Sierra denudada (Dsd), cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco), S del Río Caraba; **B:** Ladera erosiva (De), fotografía hacia Cerro Concáceres; **C:** Lomo bajo de longitud larga (Dldebl), al E de Silos; **D:** Sierra homoclinal (Ssh), localidad de Silos.





Fuente: Galería fotográfica del grupo 1 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2015.

2.3 DRENAJES

La red de drenaje presenta un marcado control estructural, por lo cual este exhibe patrones drenajes subparalelos y subdendríticos. En la zona se presentan como drenajes principales el Rio Caraba y el Rio Angosturas; estos junto a un numeroso Quebradas de longitudes considerables tale como la Honda, Cherquetá, Vichagá y Salado Chiquito; presentan tributarios asociados que convergen hacia ellos en dirección casi perpendicular y concordante a la disposición de las fallas reportadas para esta área.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo se desarrolló mediante el cumplimiento de 5 etapas, las cuales se explican a continuación:

3.1 PRIMERA ETAPA: PRE-CAMPO

En esta etapa se llevó a cabo la definición del problema y el área de estudio, con lo cual se delimitó la búsqueda de información en las distintas plataformas disponibles (Boletín de Geología UIS, South American Earth Sciences, Earth and Planetary Science Letters, U.S. Geological Survey), bases de datos (Science Direct y Scopus), informes del INGEOMINAS (mapas geológicos y topográficos)). Posteriormente se pasó a seleccionar, organizar y analizar dicha información para poder definir el trabajo de campo.

3.2 SEGUNDA ETAPA: TRABAJO DE CAMPO

Esta fase inicio con el reconocimiento del área, las vías de acceso y los principales rasgos de la región, logrando identificar las transversas a recorrer, una de ellas en dirección sur – norte desde el puente de la Quebrada Vichagá en donde cambia de manera abrupta la litología de filitas y esquistos de grano fino con porfidoblástos post-tectónicos de cloritoide a esquistos con estaurolita y granate de grano medio. Una segunda transversa se determinó en dirección noroeste-sureste por la vía Silos-Bábega, recorriendo el sector desde Cerro Concáceres a la Cuchilla de Socotá donde se observó la desaparición de minerales indicadores considerables para determinar las zonas de metamorfismo. Así mismo, se hizo la visita y reconocimiento de los sectores puntuales de donde se han tomado las muestras más importantes durante los pasados proyectos de grado, tales como Puente

Caraba, La Cantera de Mármol, El Altamisal y los alrededores de la cabecera municipal de Silos. Por último se hizo la toma de datos litológicos estructurales y fotográficos que permitieran corroborar o amarrar de una mejor manera los datos ya analizados.

3.3 TERCERA ETAPA: LABORATORIO

3.3.1 Preparación de muestras y elaboración de secciones delgadas: En esta fase se realizó el lavado de las muestras que se recogieron en campo, seguido de la selección de las muestras para realizar sección delgada, correspondientes a aquellas que por no haberse reportado con anterioridad debido a su variedad mineral, mostraron un interés para la definición más precisa de los litotipos. Las secciones delgadas fueron nombradas con las siglas SB (S: Silos, B: Babega) seguidas de un número consecutivo correspondiente a su posición en un catálogo en Excel donde están todas las muestras de las diferentes unidades aflorantes en los alrededores de Silos-Babega recolectadas durante las campañas de campo de 2009-I, 2014-I, 2015-I y 2015-II.

3.3.2 Análisis petrográfico: Durante esta etapa se llevó a cabo la descripción de 50 secciones delgadas (Anexo A) 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 aquí mostradas, 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), publicada por

Robertson (1999)² donde se proponen los términos psamita, semipelita y pelita de acuerdo con la composición mineralógica de las rocas (Ver Tabla 1), y el diagrama clasificatorio de rocas meta-carbonatadas y afines de Rosen *et al.* (2007)³ para la definición de los litotipos composicionales, mientras que las variedades litológicas se nombraron de acuerdo a la clasificación de la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas (siglas en inglés: SCMR) en el 2007. Para las descripciones de las rocas se tuvo en cuenta los términos estructurales usados en Yardley *et al.* (1997)⁴, la estructura y morfología de las foliaciones según la clasificación de Passchier and Trouw (2005)⁵. Las abreviaturas minerales aquí usadas son las propuestas por Whitney and Evans en el 2010⁶ (Ver Tabla 2).

3.4 CUARTA ETAPA: OFICINA

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.

3.5 QUINTA ETAPA: REDACCION Y ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL

En esta etapa se hizo la revisión y selección de la información obtenida en campo y en los diferentes análisis de laboratorio, continuando con la elaboración de mapas,

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

³ ROSEN, Oleg; DESMONS, Jacqueline Y FETTES, Douglas. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 7. Metacarbonate and related rocks. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. 2007 [Consultado: 4 de Diciembre de 2016]. Disponible en: https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_7.pdf

⁴ YARDLEY, B., MACKENZIE, W. y GUILFORD, C. Atlas de rocas metamórficas y sus texturas. Barcelona: Masson, 1997. 120 p.

⁵ PASSCHIER, W. and TROUW, R. Microtectonics. Berlin: Editorial Springer-Verlag, 2005. 353 p.

⁶ WHITNEY, Donna and EVANS, Bernard. Abbreviations for names of rock-forming minerals. En: American Mineralogist. Vol. 95 (2010); p. 185-187.

figuras, tablas, correlaciones, digitalización y edición de mapas que permiten elaborar el informe final.

Tabla 1. Clasificación de rocas compuestas en su mayoría de cuarzo-mica-feldespatos.

NOMBRE	% "MICA"	% CUARZO + FELDESPATOS
Psamita	0-20	80-100
Semipelita	20-40	60-80
<i>Pelita</i>	>40	<60

Fuente: Robertson (1999)

Tabla 2. Abreviaturas minerales usadas.

Act Actinolita	Grt Granate	Py Pirita
Bt Biotita	Hbl Hornblenda	Qz Cuarzo
Cal Calcita	Ilm Ilmenita	Rt Rutilo
Chl Clorita	Kfs Feldespato Potásico	Ser Sericita
Cld Cloritoide	Ky Cianita	St Estaurolita
Cum Cummigtonita	Mag Magnetita	Tr Tremolita
Czo Clinozoisita	Ms Muscovita	Ttn Titanita
Di Diópsido	Opq Minerales Opacos	Tur Turmalina
Ep Epidota	Pl Plagioclasa	Zo Zoisita
Gr Grafito		Zrn Zircón

Fuente: Whitney and Evans, (2010)

4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El nororiente Colombiano es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico cuya conformación está dada por la interacción de las placas tectónicas de Nazca, Caribe, y Suramericana. Por encontrarse dentro de este dominio, el área de Santander despierta gran interés y discusiones sobre su origen y conformación geológica. La caracterización tectónica del territorio de Santander esta subdividida en tres provincias tectónicas: Macizo de Santander (conformada por los bloques Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña), el Valle Medio del Magdalena y la de la Cordillera Oriental (Royero y Clavijo, 2001)⁷.

Según García *et al.* (2005)⁸, el Macizo de Santander estructuralmente es un bloque levantado limitado por la falla Bucaramanga – Santa Marta al oeste y por el sistema de fallas Pamplona – Cubogón – Mercedes hacia el este. En Ward *et al.* (1973)⁹ la mayoría de fallas encontradas tanto al este como al oeste de la falla de Bucaramanga tienen rumbo norte-noroeste paralelamente a la orientación de dicha falla, solo unas pocas cortan dicha dirección.

El área de estudio se localiza hacia la parte centro-oriental del Macizo de Santander, sobre los Bloques de Ocaña y Cucutilla (Ver Figura 1), los cuales están separados entre sí por la Falla de Mutiscua hacia el Sur y la Falla de las Mercedes hacia el

⁷ ROYERO, J., Y CLAVIJO, J. Memoria explicativa del mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 2001, 92 p.

⁸ GARCÍA, C., RÍOS, C. and CASTELLANOS, O. Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes, Colombia. En: Boletín de Geología. Vol. 27, No 2 (Julio-Diciembre, 2005); p. 43-68.

⁹ WARD, D., *et al.* 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.

norte. Según Royero y Clavijo (2001)¹⁰, el bloque de Cucutilla se caracteriza por un sistema de fallamiento en bloques pequeños, separados por fallas inversas con inclinación principalmente hacia el occidente y por anticlinales y sinclinales estrechos truncados por el fallamiento de dirección SE-NW; corresponde a un bloque hundido conformado por rocas sedimentarias Paleozoicas, Jurásicas, Cretácicas y Terciarias. Por otro lado, el bloque de Ocaña se caracteriza tectónicamente por presentar un estilo estructural de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE; corresponde a un bloque levantado por rocas ígneas Triásico-Jurásicas y metamórficas Precámbricas y Paleozoicas; este bloque está limitado al occidente por la Falla Bucaramanga-Santa Marta y al suroriente por la Falla de Baraya.

Según Ward *et al.* (1973)¹¹, el complejo metamórfico del basamento cristalino del Macizo de Santander está representado por las unidades metamórficas correspondientes al Neis de Bucaramanga, la “Formación Silgará” Silgará y el Ortoneis. El Neis de Bucaramanga, o Complejo Bucaramanga según Royero y Clavijo (2001)¹², es de edad Precámbrica y consta de una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos y cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y, esporádicamente, granulitas; correspondían a depósitos epicontinentales que alcanzaron condiciones metamórficas de la facies anfibolita durante la Orogenia Grenviliense (Restrepo *et al.* 1997)¹³. Los Esquistos del Silgará, llamada “Formación Silgará” por Ward *et al.* (1973)¹⁴ considerada de edad Neo Proterozoica en cuanto a su protolito, pero de edad Ordovícica Temprana en cuanto al metamorfismo, es definida como una

¹⁰ ROYERO, J., Y CLAVIJO, J., op cit, p.29.

¹¹ WARD, D., *et al.*, op. cit, p.29.

¹² *Ibíd.*, p.29.

¹³ RESTREPO-PACE, Pedro; et al. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. En: Earth and Planetary Science Letters. Vol. 150 (Mayo, 1997); p. 427-441.

¹⁴ *Ibíd.*, p.29.

secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas, constituida por pizarra, filita, meta-limolita, meta-arenisca impura, meta-waca y meta-waca guijarrosa con menos cantidades de pizarra y filita calcárea de grado metamórfico de bajo a medio, pero la cual debió alcanzar condiciones de las facies esquistos verdes o facies anfibolita baja, según sectores concretos (Ward *et al.* 1973¹⁵ y Mantilla *et al.* 2015 manuscrito). Por último, el Ortoneis, denominado por Royero y Clavijo (2001)¹⁶ como Ortoneis de Berlín, agrupa neises cuarzofeldespáticos, que varían en textura y composición de granito a tonalita, muestran generalmente una lineación y foliación concordante con las rocas metamórficas del complejo Bucaramanga y los Esquistos del Silgará; es considerado de edad Devónico Inferior a Ordovícico, el cual intruye a los Esquistos del Silgará y tiene una composición granítica a tonalita y diorita (Ward *et al.* 1973¹⁷; Restrepo, 1995¹⁸; Royero y Clavijo, 2001¹⁹).

Entre las litologías sin metamorfismo reconocidas, se destacan aquellas de naturaleza ígnea, relacionadas con un extenso magmatismo calco-alcalino que ocurrió después del evento orogénico del Paleozoico tardío y su edad ha sido establecida como Triásico-Jurásico. Las edades para los plutones y stocks individuales varían de 176 a 210 Ma. Estas rocas plutónicas fueron denominadas por Ward *et al.* (1973)²⁰ como Grupo Plutónico de Santander. La actividad magmática del Cretácico temprano está representada por diques de composición

¹⁵ WARD, D., *et al.*, op. cit, p.29.

¹⁶ ROYERO, J., Y CLAVIJO, J., op cit, p.29.

¹⁷ *Ibíd.*, p.29.

¹⁸ RESTREPO PACE, P. Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes based on new geochronological, geochemical and isotopic data. Unpublished Ph.D Thesis, University of Arizona. [Online] 1995. 195 p.

¹⁹ *Ibíd.*, p.29.

²⁰ *Ibíd.*, p.29.

riolítica y textura porfírica, y posiblemente por diques de diabasa (Goldsmith *et al.*, 1971²¹).

²¹ 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.

5. ESTADO DEL ARTE

El Macizo de Santander el cual hace parte de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos es considerado como un complejo metamórfico pre-Devónico conformado por tres unidades metamórficas que según Ward *et al.* (1973)²² corresponden al Neis de Bucaramanga, Ortoneis y Formación Silgará, donde las dos primeras fueron renombradas por Royero y Clavijo (2001)²³ como Complejo Bucaramanga, debido a sus características litológicas y a la compleja evolución geológica de esta unidad y Ortoneis de Berlín por encontrarse su sección tipo en los alrededores de Berlín donde tiene su mayor extensión y está mejor expuesto. En cuanto a la denominada Formación Silgará que corresponde a la unidad de interés para este estudio, Restrepo-Pace (1997)²⁴ y Amaya (2012)²⁵ debido a las diferencias de litologías y grados de metamorfismos de esta unidad en las distintas fajas donde aflora, redefinen su nomenclatura como Esquistos del Silgará; así mismo, Mantilla *et al.* (2016)²⁶ atendiendo a las diferencias no solo litológicas sino de edades estratigráficas determinadas a partir de dataciones U-Pb en circones detríticos proponen escindir la Formación Silgará en tres unidades diferentes: (1) Esquistos del Silgará, unidad fundamentalmente pelítica y semipelita aflorante en la franja Matanza-Cachirí y cuyas rocas alcanzaron el máximo pico de metamorfismo en la facies Esquistos Verdes, con circones detríticos de edades U-Pb entre $906,5 \pm 10,5$ Ma y $1.610,3 \pm 9,8$ Ma que sugieren una edad máxima estratigráfica del Neoproterozoico (Toniano), (2) Esquistos del Chicamocha, unidad compuesta

²² WARD, D., *et al.*, op. cit, p.29.

²³ ROYERO, J., Y CLAVIJO, J., op cit, p.29.

²⁴ RESTREPO-PACE, Pedro; *et al.*, op cit, p.30.

²⁵ AMAYA FERREIRA, Sergio. Caracterización petrográfica y petrológica de las migmatitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamento de Norte de Santander y Santander. Master Tesis. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento Geociencias, 2012. 130 p.

²⁶ MANTILLA-FIGUEROA, Luis; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos y VALENCIA, Victor. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. En: Boletín de Geología. Vol. 38, No 1 (Enero-Abril, 2016); p. 33-50.

principalmente por metapsamitas, metapelitas y metabasitas aflorantes en la franja Piedecuesta-Aratoca y cuyas rocas alcanzaron el máximo pico de metamorfismo en la facies anfibolita y con circones detríticos en cuarcitas con edades U-Pb entre $506,7 \pm 9,3$ Ma y $2.586 \pm 10,2$ Ma indicando una máxima edad estratigráfica entre el Cámbrico Temprano (Terreneuviano) a Cámbrico medio y (3) Filitas de San Pedro, unidad compuesta fundamentalmente por metapsamitas, metapelitas y posiblemente de manera local rocas meta-volcanoclásticas aflorantes en la franja Piedecuesta-Aratoca en el sector de San Pedro, con rocas de facies sub-esquistos verdes y edades entre $451,6 \pm 7,7$ Ma y $1.611,5 \pm 13,4$ Ma sugiriendo una edad máxima estratigráfica del Ordovícico tardío (Katian).

En cuanto a la edad de los Esquistos del Silgará, han sido, de manera general Goldsmith *et al.* (1971)²⁷ y Silva *et al.* (2004)²⁸ quienes han llevado a cabo las distintas dataciones de estas rocas. Goldsmith *et al.* (1971)²⁹, por el método K-Ar y Rb-Sr aplicado en filitas de la Formación Silgará data edades entre los 195 a 221 ± 8 Ma, reflejando en este caso no su edad real de metamorfismo, sino la edad de un evento termal, por lo cual no son tenidas en cuenta ya que la correlación estratigráfica con estratos fosilíferos Devónicos no metamorfoseados, indica que el metamorfismo de esta unidad posiblemente tuvo lugar hace 410 a 450 Ma. Por otra parte, Silva *et al.* (2004)³⁰ analizaron las variaciones isotópicas de C en mármoles, obteniendo para las muestras de Formación Silgará, variaciones quimioestratigráficas $\delta^{13}C$ -7 y +4,6‰PDB, sugiriendo una sedimentación pelágica a lo largo de un estrecho marino localizado al NW de Gondwana durante el Ediacárico Tardío a Cámbrico Temprano.

²⁷ GOLDSMITH, Richard; MARVIN, Richard. and MEHNERT, Harald., op. cit, p.32.

²⁸ SILVA, J., SIAL, A., FERREIRA, V., ARENAS, J. AND JIMENEZ, D. C-Isotope stratigraphy of some Ediacaran-Cambrian carbonate successions in NW Gondwana. Reunion Nacional Ciencias de la Tierra (4): Memorias. México, 2004, p. 327-330.

²⁹ *Ibíd.*, p.32.

³⁰ *Ibíd.*, p.34.

A continuación, se presenta el estado del arte de los esquistos del Silgará en las franjas donde se ha estudiado:

Hacia la parte norte del Macizo de Santander, en la franja Sardinata-Ábrego-Hacarí, Arias y Vargas (1978)³¹ desarrollaron la cartografía a escala 1:100.000 en el en el área de Abrego, Norte de Santander, donde describieron en su mayor parte rocas metamórficas de las Formación Silgará, mientras que Niño (2012)³² y Castellanos y Ríos (2015)³³ se enfocaron en el estudio del metamorfismo de esta unidad a través de análisis litológicos y petrográficos, determinando el primero de ellos que la unidad fue afectada inicialmente por un metamorfismo Barroviense entre facies esquistos verdes - anfíbolita seguido de un metamorfismo de contacto de facies anfíbolita y piroxeno – corneanas; y los segundos, las evidencias de un metamorfismo tipo Buchan (andalucita-cordierita) atribuido a una corteza afectada por una adición considerable de calor debido a magmas, sobreimponiéndose este al metamorfismo Barroviense que caracteriza a esta unidad.

Hacia la zona centro occidental del macizo, en la franja Matanza-Cachirí-Turbay, inicialmente Ward *et al.* (1973)³⁴ realizaron la cartografía geológica donde definen la sección tipo de la Formación Silgará en la quebrada del mismo nombre como una secuencia de rocas clasificadas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificada que consta de pizarras, filitas, meta-limonitas, metareniscas impuras, metawacas y metawacas guijarrosas con menos cantidades

³¹ ARIAS, A. y VARGAS, R. Geología del Cuadrángulo G-12 Abrego, Departamento de Norte de Santander. Bucaramanga: INGEOMINAS, 1978. 55 p.

³² NIÑO PINZÓN, 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. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2012. 120 p.

³³ CASTELLANOS, Oscar y RÍOS, Carlos. A case of regional metamorphism of Buchan type (andalusite-cordierite) in the Northern Santander Massif, Eastern Cordillera (Colombia). En: Ciencias de la Tierra. Vol. 39, No 152 (Julio-Septiembre, 2015); p. 416-429.

³⁴ WARD, D., *et al.*, op. cit, p.29.

de pizarras y filitas, reconociendo que dichas rocas se encuentran metamórficamente dentro de la facies esquistos verdes alta y anfibolita baja. Posteriormente, Rueda y Villamizar (2014)³⁵ llevan a cabo un estudio de campo, petrográfico y químico de las rocas pelíticas y semipelíticas de los Esquistos del Silgará, obteniendo que dichas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado 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 y señalando una posible etapa retrograda y un metamorfismo dinámico sobreimpuesto, asociado al sistema de fallas Suratá-Arboledas y a las fallas satélite que afectan a las rocas a diferentes niveles estructurales.

En la zona central del Macizo, en la franja Mutiscua, diversos han sido los trabajos que compilan información acerca de la composición mineralógica y química de las rocas de los Esquistos del Silgará, así como de las condiciones de presión, temperatura y evolución de su metamorfismo tales como los de Campos (1998)³⁶, Barragán y Montenegro (1999)³⁷, García y Campos (2000)³⁸, Castellanos *et al.*

³⁵ RUEDA GARZÓN, Luisa Fernanda, y VILLAMIZAR PABÓN, Deicy Yocelin. Petrografía de los Esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2014. 129 p.

³⁶ CAMPOS ALVAREZ, Nelson Orlando. Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará al oeste de la falla de Mutiscua, Cordillera Oriental, Colombia. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 1998. 140 p.

³⁷ BARRAGÁN ARIAS, Mario Fernando y MONTENEGRO BUITRAGO, Gustavo Adolfo. Metamorfismo y evolución metamórfica del área comprendida entre los municipios de Vetas (Santander) y Mutiscua (Norte de Santander). Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 1999. 92 p.

³⁸ GARCÍA, C. y CAMPOS, N. 2000. Composición química y mineralógica de las biotitas metamórficas del sector central del Macizo de Santander, Colombia. En: Boletín de Geología. Vol. 22, No 37 (Julio-Diciembre, 2000); p. 18-27.

(2004)³⁹, García *et al.* (2005)⁴⁰, Ávila y Gómez (2006)⁴¹, Castellanos *et al.* (2008)⁴², Ríos *et al.* (2008a)⁴³, Ríos y Castellanos (2014)⁴⁴. Por su parte, Arenas (2004)⁴⁵ además de los estudios petrográficos, incluye análisis de estratigrafía física, microtectónica y quimioestratigráfica en las metamorfitas de la Formación Silgará hacia el noreste de Mutiscua, estableciendo que esta experimentó un metamorfismo dinamotermal de presión intermedia en facies epidota-anfibolita a anfibolita alta, que todo el conjunto de rocas manifiestan deformación dúctil con cizalla sinistral, que la sedimentación del protolito fue probablemente autóctona sobre un margen continental al NW de Gondwana en el Véndico al Cámbrico Inferior y que existe una correlación y una historia geológica común entre dicha unidad y las metamorfitas del Macizo de La Floresta y de la Cordillera Central de Colombia. En cuanto estudios hidrotermales, Cadaviedes y Gómez (2006)⁴⁶ llevaron a cabo un análisis petrogenético de las venas hidrotermales con cianita que se localizan en rocas metapelíticas de la Formación Silgará al occidente de Mutiscua, estableciendo a

³⁹ CASTELLANOS, O.; RÍOS, C., and TAKASU, A. Chemically sector-zoned garnets in the metapelitic rocks of the Silgará Formation in the central Santander Massif, Colombian Andes: occurrence and growth history. En: Boletín de Geología. Vol. 26, No 42 (Enero-Junio, 2004); p. 9-18.

⁴⁰ GARCÍA, C., RÍOS, C. and CASTELLANOS, O., op. cit, p.29.

⁴¹ ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región central de Macizo de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2006. 117 p.

⁴² CASTELLANOS, Oscar; RÍOS, Carlos 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. Vol. 12, No 2 (Diciembre, 2008); p. 125-155.

⁴³ RÍOS, C.; *et al.* Petrogenesis of the metacarbonate and related rocks of the Silgará Formation, Central Santander Massif, Colombian Andes: An overview of a "Reaction Calcic Exoscarne". En: Earth Sciences Research Journal. Vol. 12, No 1 (Junio, 2008a); p. 72-106.

⁴⁴ RÍOS, Carlos. and CASTELLANOS, O. First report and significance of the staurolite metabasite associated to a sequence of calc-silicate rocks from the Silgará Formation at the central Santander Massif, Colombia. En: Ciencias de la Tierra. Vol. 38, No 149 (Octubre-Diciembre, 2014); p. 418-429.

⁴⁵ ARENAS MOSQUERA, 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. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento Geociencias, 2004. 156 p.

⁴⁶ CAVIEDES GONZÁLES, Marco Aurelio y GÓMEZ VILLA, Rafael Enrique. Petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región central del Macizo de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2006. 96 p.

partir de microtermometría un registro de al menos cuatro eventos hidrotermales, el primero de mayor temperatura (240°C - 280°C) interpretado como un pulso hidrotermal desarrollado en un ambiente dúctil y los tres restantes de menor temperatura (117°C – 220°C) desarrollado en un contexto frágil, también, determinaron que el proceso que favoreció la formación de la cianita en las venas de cuarzo corresponde a un evento dinamo térmico generado por la mezcla de minerales del fluido hidrotermal con minerales de la roca encajante en condiciones de temperatura alta y presión media.

Hacia el sur de la franja de Mutiscua, Ward *et al.* (1973)⁴⁷ describieron las franjas de Silos-Bábega, Berlín y Berlín-Silos-Mutiscua, indicando que la primera se compone principalmente de rocas carbonatadas y esquistos, que la segunda presenta intercalaciones de esquistos granatíferos y cuarcitas con granate en facies esquistos verdes, y que la tercera, está constituida por cuarcitas y en menor cantidad conglomerados de cantos rodados de cuarzo, esquistos cuarzo-muscovíticos con granate, estaurólita o silimanita, esquistos gris con granate-biotita-muscovita y cantidades menores de estratos calcosilicatados y mármol. Adicionalmente, Arenas (2015)⁴⁸ realizó la cartografía geológica detallada del sector Silos-Bábega a partir de información obtenida por relaciones de campo y estudios microscópicos.

En la franja de Pamplona, que corresponde al sector más oriental del Macizo donde aflora la Formación Silgará, básicamente se han adelantado estudios que cuentan con descripciones litológicas y petrográficas tales como el de Ward *et al.* (1973)⁴⁹,

⁴⁷ WARD, D., *et al.*, op. cit, p.29.

⁴⁸ ARENAS, Camilo Arturo. Geología del sector Silos - Bábega. Macizo de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2015. 104 p.

⁴⁹ *Ibíd.*, p.29.

Gutiérrez (2001)⁵⁰ y Quiroz y Hernández (2015)⁵¹ donde estos últimos se enfocaron en el estudio composicional y paragenético de las turmalinas presentes en las rocas metamórficas de la Formación Silgará, en el sector conocido como Cerro de las Antenas, encontrándose dos grupos composicionales de turmalinas, el primero de grano fino (< 0,08mm) tipo dravita relacionada con el desarrollo del metamorfismo regional, y la segunda de grano grueso (0,4mm – 2cm) tipo chorlo y oxy-chorlo, composicionalmente similar a las turmalinas encontradas en diques pegmatíticos que corta la unidad y asociadas con la unidad ígnea denominada Granito de Durania.

Hacia el suroeste del Macizo de Santander encontramos la franja Pescadero-Aratoca, una de las franjas más estudiadas, iniciando por Schäfer *et al.* (1997)⁵² quienes realizaron el primer estudio de metamorfismo y geoquímica de las anfibolitas de la Formación Silgará, obteniendo que dichas rocas fueron metamorizadas en condiciones de facies de anfibolita (6-8 kbar/ 600-700 °C) y cuya edad, según las relaciones de campo corresponde al Proterozoico; seguidos por estudios similares tales como los de Castellanos (1999)⁵³, Ríos (2001)⁵⁴, Ríos y

⁵⁰ GUTIÉRREZ CAVIELES, Claudia Patricia. Petrografía y mineralogía de las Formaciones Silgará y Ortoneis en el área de Pamplona (Norte de Santander). Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2001. 173 p.

⁵¹ QUIROZ PRADA, Carlos Augusto y HERNÁNDEZ DUARTE, Yenny Yulieth. Estudio composicional y paragenético de las turmalinas presentes en rocas metamórficas de la Formación Silgará (Cerro de las Antenas, municipio de Pamplona): implicaciones genéticas. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2015. 69 p.

⁵² SCHÄFER, J., GRÖSSER, J., AND RODRÍGUEZ, G. 1997. 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.

⁵³ CASTELLANOS ALARCON, Oscar Mauricio. Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca (Santander). Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 1999. 134 p.

⁵⁴ RÍOS REYES, C. 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. Vol. 23, No 38 (Enero-Junio, 2001); p. 41-49.

García (2001)⁵⁵, Mantilla *et al.* (2002)⁵⁶ y Ríos *et al.* (2003a)⁵⁷. Por otro lado, Mantilla *et al.* (2001)⁵⁸, Mantilla *et al.* (2003)⁵⁹ se enfocaron en el estudio de los eventos de deformación registrados en estas rocas, reportando de manera coherente en ambos casos las evidencias de la presencia de una banda de cizallamiento, correspondientes a elementos deformacionales tales como lineaciones, sombras de presión, zonas de milonización, pliegues isoclinales recumbentes, pliegues sin raíz, boudines, elongación de cristales de granate y truncamiento de zonación química, que sumados a las evidencias de una importante circulación de fluidos hidrotermales, hace de esta zona un sector importante para la exploración de depósitos mesotermales. Finalmente, Ríos *et al.* (2008b)⁶⁰ y Ríos *et al.* (2010)⁶¹ llevaron a cabo estudios entorno a granates zonados, donde los últimos se centraron en el análisis de los patrones de zonación química en las diferentes zonas metamórficas de la Formación Silgará, concluyendo que la distribución de Mn y Mg en estos minerales está relacionada con el equilibrio local de la roca, mientras que la distribución del Ca algunas veces es controlada por el equilibrio local de la roca, pero también, por el transporte difuso entre el granate y la matriz de la roca.

⁵⁵ RÍOS REYES, C. y GARCÍA RAMIREZ, C. Primera ocurrencia de los tres polimorfos de Al₂SiO₅ en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Vol. 23, No 38 (Enero-Junio, 2001); p. 51-59.

⁵⁶ MANTILLA, L.; RÍOS, C. y CASTELLANOS, O. 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. Vol. 24, No 39 (Enero-Junio, 2002); p. 7-17.

⁵⁷ RÍOS, C., GARCÍA, C., and TAKASU, A. Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. En: Journal of South American Earth Sciences. Vol. 16, No 2 (2003a); p. 133-154.

⁵⁸ MANTILLA FIGUEROA, Luis; *et al.* Estudio 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. Vol. 23, No 38 (Enero-Junio, 2001); p. 69-75.

⁵⁹ MANTILLA FIGUEROA, Luis; *et al.* Nuevas evidencias acerca de la presencia de una banda de cizallamiento en la Formación Silgará del sector Aratoca-Pescadero (Región suroccidental del Macizo de Santander). En: Boletín de Geología. Vol. 25, No 40 (Enero-Junio, 2003); p. 81-90.

⁶⁰ RÍOS, Carlos; CASTELLANOS, Oscar and TAKASU, Akira. A new interpretation for the garneth zoning in metapelitic rocks of the Silgará Formation, southwestern Santander Massif, Colombia. En: Earth Sciences Research Journal. Vol. 12, No 1 (Junio, 2008b); p. 7-30.

⁶¹ RÍOS, Carlos; CASTELLANOS, Oscar 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. Vol. 14, No 2 (2010); p. 161-172.

Finalmente, para la parte más sur del Macizo de Santander en la Franja Floresta-Corrales-Otengá, encontramos los trabajos de Núñez (2000)⁶² y Maya (2001)⁶³, el primero correspondiente a un catálogo de unidades litoestratigráficas, donde se hace énfasis en que las filitas y esquistos de Busbanzá se correlacionan con intercalaciones menores de metareniscas y metawacas que pertenecen a la Formación Silgará y que afloran en la franja Pamplona-Chitagá con paragénesis de Ms+Qt+Bt, Sill+Bt+Ksf, Bt+Ksf+Grt y And+Bt+Grt; y el segundo, a un estudio de distribución de facies y edades de las rocas metamórficas en Colombia donde se agrupa la Formación Silgará, las Filitas de Otengá, las Filitas Cordieríticas de Buzbanzá, la Secuencia Chitagá y la Secuencia de Cucutilla bajo la unidad AN/EVbm (Pe-Pz1) y nombradas en su conjunto como Formación Silgará, las cuales afloran en el Macizo de Floresta en los alrededores de las poblaciones de Floresta-Corrales-Otengá.

El análisis bibliográfico evidencia que en la zona de interés de este estudio (franja Silos-Bábega) no se han adelantado investigaciones detalladas entorno a los Esquistos del Silgará, a excepción de las descripciones litológicas realizada por Ward *et al.* (1973)⁶⁴ y la cartografía de Arenas (2015)⁶⁵, por lo cual aún hay muchos interrogantes entorno a las características petrográficas y las condiciones de presión-temperatura a la que se formaron estas rocas.

⁶² NÚÑEZ, A. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia, Filitas y Esquistos de Buzbanzá. Bogotá: INGEOMINAS. 2000, 21 p.

⁶³ MAYA, M. Distribución, facies y edad de las rocas metamórficas en Colombia. Colombia: INGEOMINAS. 2001, 59 p.

⁶⁴ WARD, D., et al., op. cit, p.29.

⁶⁵ ARENAS, Camilo Arturo., op. cit, p.38.

6. GEOLOGÍA LOCAL

6.1 LITOESTRATIGRAFÍA

El área de estudio abarca un área de aproximadamente 225 km² y está geográficamente localizado en los municipios de Silos-Bábega en la región Centro Oriental del Macizo de Santander, donde afloran las unidades metamórficas correspondientes al Neis de Bucaramanga, los Esquistos del Silgará, el Ortoneis y Floresta Metamorfoseada (Según Ward *et al.*, 1973)⁶⁶. Con respecto a las unidades ígneas, a escala cartográfica se encuentra el Granito de Durania y con respecto a las unidades sedimentarias tenemos a las Formaciones Diamante, Girón, Tambor, Rosa Blanca, Tibú-Mercedes, Rosa Blanca, Aguardiente, Capacho, Luna, Colon y Mito-Juan, Barco, Cuervos y Mirador, además de los depósitos Cuaternarios (Ver Figura 5). A continuación se describen las unidades metamórficas más relevantes:

6.1.1 Esquistos del Silgará: Es la unidad predominante en el área de estudio con una exposición aproximada de 40 km² aflorantes de norte a sur; está constituida por rocas metamórficas de protolito sedimentario, de composición pelítica, semipelítica, cuarzofeldespática y carbonatada. Se encuentra compuesta principalmente de intercalaciones de esquistos y cuarcitas con algunos niveles potentes de mármol en formas de cuerpos lenticulares discontinuos (Ver Figura 3A). Se encuentran en contacto ondulante intrusivo pero con foliación concordante con los cuerpos de Ortoneis presentes (Ver Figura 3B) y en contacto fallado con las unidades sedimentarias (Ver Figura 3C).

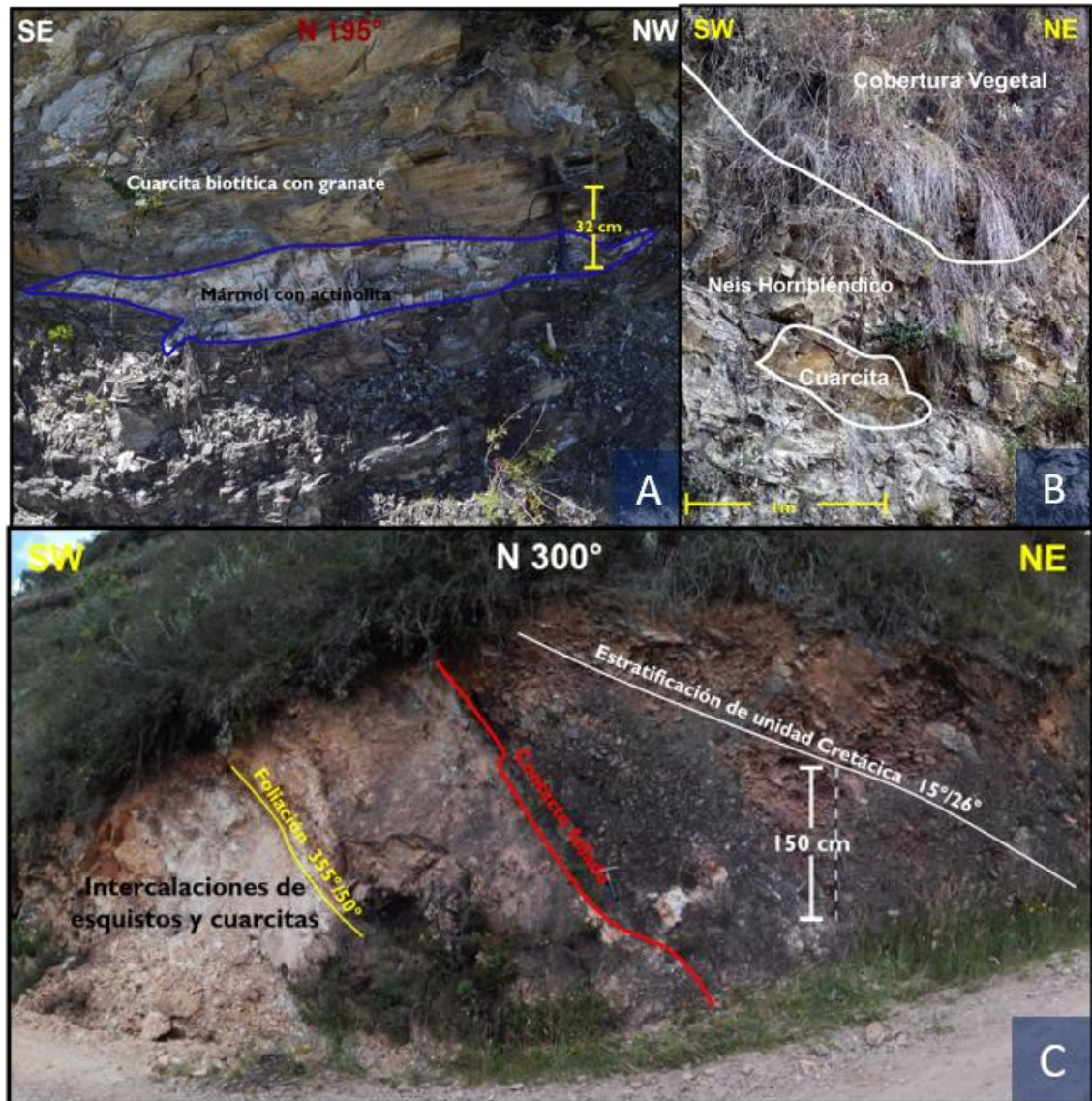
⁶⁶ WARD, D., et al., op. cit, p.29.

6.1.2 Ortoneis: Esta unidad se encuentra constituida a nivel general por rocas metamórficas de estructura néisica. Se reportan 3 variedades composicionales: neises pelíticos (neis biotítico), neises máficos (neis hornbléndico y anfibolita) y neises cuarzofeldespáticos. Se encuentra distribuido principalmente en dos secciones: La primera se encuentra hacia la parte occidental y noroccidental del municipio de Silos, esta es una faja que se extiende desde el Río Caraba en la parte inferior hasta el río La Plata en la parte superior, pasando por la quebrada la Estancia, la vereda Pachacual, la vía que comunica desde Silos hasta las Tapias y la Loma el Cielo; La segunda sección se encuentra dividida en dos pequeños cuerpos el primero de estos se encuentra ubicado hacia la parte suroriental del municipio de Silos, sobre la parte nororiental de la cuchilla de Socotá, al NE del sector conocido como el Palomar parte alta donde nace la quebrada de los Grillos, el Chorro el Avenal, así como hacia la parte noroccidental del caserío los Rincón, también se encuentra presente este cuerpo hacia la vereda doña Ángela y en la parte noroccidental de la inspección de Bábega. El otro cuerpo se extiende casi en dirección norte-sur desde el río Caraba hasta la carretera que comunica al municipio de Silos con la inspección de Bábega, sobre el sector conocido como Santa Helena.

6.1.3 Floresta Metamorfoseada: Está constituida por meta-areniscas de grano fino de tonalidades amarillentas grisáceas, constituidas principalmente por cristales de cuarzo, moscovita y en menor proporción plagioclasas, biotita y hornblenda. La roca presenta una leve recristalización desarrollando planos de foliación incipiente en dirección $S77^{\circ}W/34^{\circ}NW$. Parecen organizarse en capas no muy espesas, aflorando al Oeste de la zona de estudio, reposando discordantemente sobre los Esquistos del Silgará y hacia el Este en contacto normal con la Formación Diamante (Arenas, 2015)⁶⁷.

⁶⁷ ARENAS, Camilo Arturo., op. cit, p.38.

Figura 3. Características de los Esquistos del Silgará. A: Intercalaciones de esquistos y cuarcitas con lentes de mármol; **B:** Cuarcita bordeada por un neis con foliación concordante; **C:** Contacto fallado entre los Esquistos del Silgará y la Formación Tibú Mercedes.



6.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las características estructurales del área de estudio corresponden a fallas y foliaciones de las rocas, estas últimas siendo muy variables en todo el área debido al plegamiento y deformación tectónica. Según Arenas (2015)⁶⁸, el Macizo de Santander se encuentra estrechamente controlado por las fallas de Bucaramanga-Santa Marta, la cual presenta una extensión de nivel regional bastante importante y el sistema de fallas de Chitagá localizada hacia el flanco oriental del Macizo de Santander. La región de Silos se encuentra afectada por numerosas fallas tanto de tipo regional (Falla de Angosturas, Mutiscua) como satelitales. A continuación se describen algunas de estas fallas.

6.2.1 Falla de la Cuchilla de Socotá: Es una de las fallas de mayor extensión, la cual divide el área en sentido norte-sur; se encuentra ubicada sobre el sector de Santa Helena en la parte más norte sobre el flanco NW de la Cuchilla de Socotá. Esta falla pone en contacto lodolitas y areniscas de la Formación Tibú-Mercedes con cuarcitas de los Esquistos del Silgará. Este contacto muestra a la unidad metamórfica suprayaciendo la unidad sedimentaria, lo cual nos podría estar indicando una falla de tipo inversa.

6.2.2 Falla de Cherquetá o Falla de Angosturas: Aflora hacia la parte E del cerro Concáceres, se intersecta con la Falla de Socotá hacia la parte central del área de estudio en sentido N-S. Esta se presenta como una falla inversa con un componente de rumbo, la cual pone en contacto la Formación Tibú-Mercedes con los Esquistos del Silgará. Se correlaciona con la Falla de Angosturas, cartografiada en el mapa geológico H-13 (Ward *et al.*, 1973)⁶⁹.

⁶⁸ ARENAS, Camilo Arturo., op. cit, p.38.

⁶⁹ WARD, D., et al., op. cit, p.29.

6.2.3 Falla Quebrada la Honda o Falla de Mutiscua: Presenta una orientación NE-SW y se encuentra alineada con la quebrada la Honda o la Alejija. Se extiende atravesando el río Cáraba, afectado al Ortoneis. Aunque no hay evidencias claras, se le asocia a una falla de posible cinemática inversa. Esta falla al parecer es la continuidad de la Falla de Mutiscua.

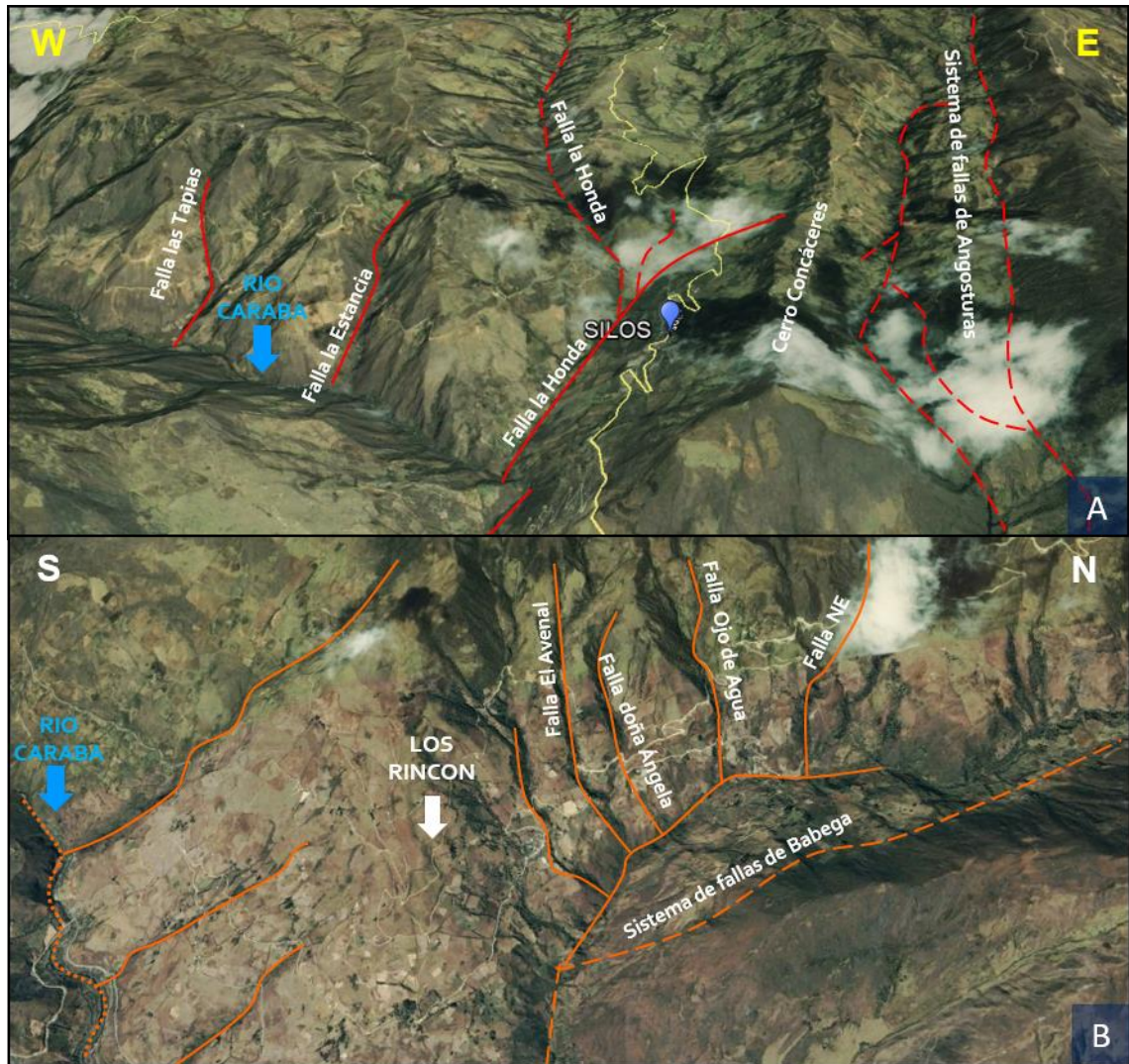
6.2.4 Falla Quebrada la Estancia: Falla de extensión local que ocurre paralela a la quebrada La Estancia, con dirección NNE-SSE, en la región noroccidental del área de trabajo. Afecta predominantemente el Ortoneis, y hacia su extremo Sur, a los Esquistos del Silgara. Esta falla es la causante del fuerte fracturamiento de las rocas aledañas a su trazo, donde se presentan distancia entre fracturas de tan sólo algunos centímetros.

6.2.5 Falla las Tapias: Falla local con dirección NNE-SSE, ubicada hacia el NW del área de trabajo, semiparalela a la Falla la Estancia. Se encuentra alineada a un drenaje permanente el cual tiene un trazo bastante corto, y genera un fuerte fracturamiento en las rocas del Ortoneis cercanas a su trazo.

6.2.6 Falla de Bábeга: Se encuentra ubicada sobre la Quebrada Miracielo, según Ward *et al.* (1973)⁷⁰ es de tipo rotacional la cual recorre el área con dirección nordeste uniéndose a la Falla de Socotá; esta falla se encuentra afectando la unidad Ortoneis y su trazo pasa por la Inspección de Bábeга del cual recibe el nombre, cortando depósitos de tipo coluvión. Corresponde a una estructura principal a la cual se encuentran asociadas otras estructuras secundarias como lo son las Fallas Chorro el Avenal, Falla de la Vereda Doña Ángela entre otras.

⁷⁰ WARD, D., et al., op. cit, p.29.

Figura 4. Principales fallas del área de estudio. A: Falla las Tapias, Falla la Estancia, Falla la Honda o Mutiscua, Sistema de fallas de Angosturas o falla de Cherquetá; **B:** Sistema de Fallas de Babega y fallas satélites asociadas (Falla el Avenal, Doña Ángela, Ojo de Agua y NE).



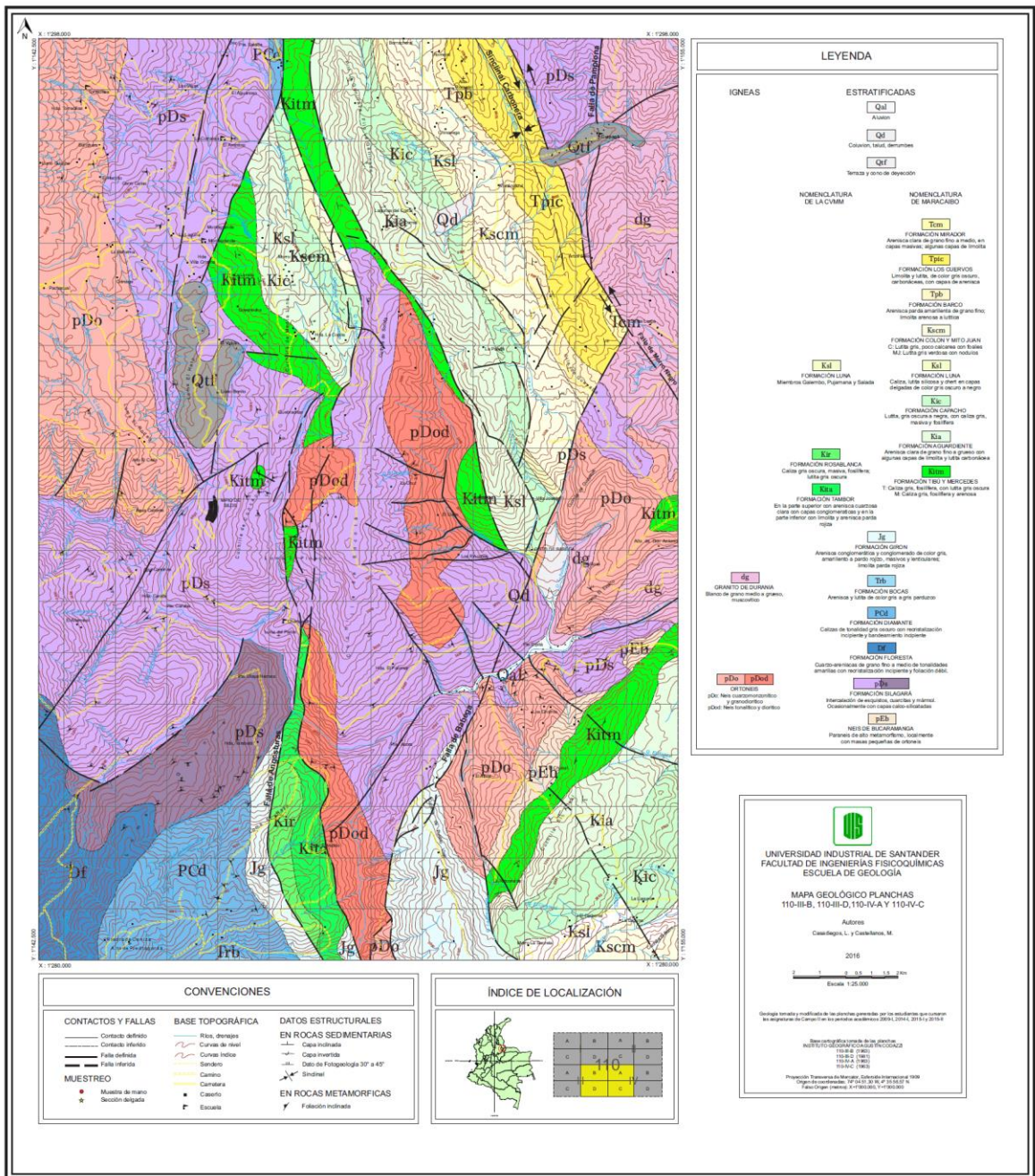
Fuente: Modificado de la galería de imágenes de Google Earth.

6.2.7 Falla el Chorro el Arenal, Doña Ángela, Ojo de Agua y Nororiental: Tienen una dirección W-E, son de tipo semiparalelas entre si las cuales son secundarias de la Falla de Bábea, alineadas con drenajes cortos rectilíneos.

6.2.8 Falla Quebrada Vichagá: Se localiza sobre la Quebrada Vichagá orientada en dirección NE-SW. Pone en contacto rocas metamórficas pertenecientes a los Esquistos del Silgara con rocas metamórficas de bajo grado como lo son las metacalizas ubicadas en Loma Grande. Según las evidencias geomorfológicas esta falla es de tipo inversa de bajo ángulo (Falla de cabalgamiento).

6.2.9 Falla del Río Cáraba: Esta estructura es una de las de mayor relevancia dentro de la zona de estudio dada su extensión y su expresión geomorfológica en el terreno. Tiene un desplazamiento lateral sinistral y su dirección general es N 40°-60° E. Esta falla debe su nombre al Río Cáraba, y ejerce un fuerte control estructural sobre su cauce. Asociada a esta estructura principal, tenemos un sistema de fallas más cortas en dirección NW-SE, las cuales son paralelas entre sí y cortan de manera perpendicular el Río Cáraba.

Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio.



Tomado y modificado de las planchas generadas por los estudiantes que cursaron las asignaturas de Campo II en los periodos académicos 2009-I, 2014-I, 2015-I y 2015-II.

7. PETROGRAFÍA

Las rocas encontradas en el área de estudio corresponden a rocas metamórficas de tipo pelitas, semipelitas, cuarcitas, mármoles puros, mármoles impuros, rocas calco-silicatadas y rocas silicatadas con carbonatos. Dichas categorías anteriormente nombradas se basan en la clasificación del Servicio Geológico Británico (siglas en inglés: BGS), publicada por Robertson (1999)⁷¹ y el diagrama clasificadorio de rocas meta-carbonatadas y afines de Rosen *et al.* (2007)⁷².

Las variedades litológicas que se describen en este capítulo se nombraron teniendo en cuenta la nomenclatura de la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas, (siglas en inglés: SCMR), de la Unión Internacional de Geociencias (siglas en inglés: IUGS), publicada por Schmid *et al.* (2007)⁷³.

Para la descripción de las variedades litológicas, se realizó la clasificación cuantitativa de los minerales en la roca basada en la propuesta de la SCMR (2007), en la cual, se determina como *minerales principales* aquellos con un contenido mayor al 50%, *minerales mayores* a aquellos cuyo contenido es mayor al 5%, *minerales menores* a aquellos cuyo contenido esta entre el 1 y 5%, y *minerales accesorios* a aquellos cuyo contenido es inferior al 1%. Así mismo, el tamaño de los granos aquí definidos siguen la clasificación de la SCMR (2007): 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 (< 0.01 mm).

⁷¹ ROBERTSON, S., op. cit, p.27.

⁷² ROSEN, Oleg; DESMONS, Jacqueline Y FETTES, Douglas., op. cit, p.27.

⁷³ SCHMID, Rolf, et al. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. 2007 [Consultado: 4 de Diciembre de 2016]. Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/SCMR/docs/papers/paper_1.pdf

En las Tablas 3 y 4 se presenta de manera resumida la composición mineralógica en % de las muestras analizadas. Dichos datos fueron además graficados en el diagrama cuarzo-feldespatos-mica* de Robertson (1999)⁷⁴ y carbonatos-silicatos ricos en calcio-silicatos pobres en calcio de Rosen *et al.* (2007)⁷⁵ (Ver Figuras 6 y 7).

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

⁷⁴ ROBERTSON, S., op. cit, p.27.

⁷⁵ ROSEN, Oleg; DESMONS, Jacqueline Y FETTES, Douglas., op. cit, p.27.

Tabla 3. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará en rocas metamórficas de composición pelítica, semipelítica y cuarzofeldespáticas.

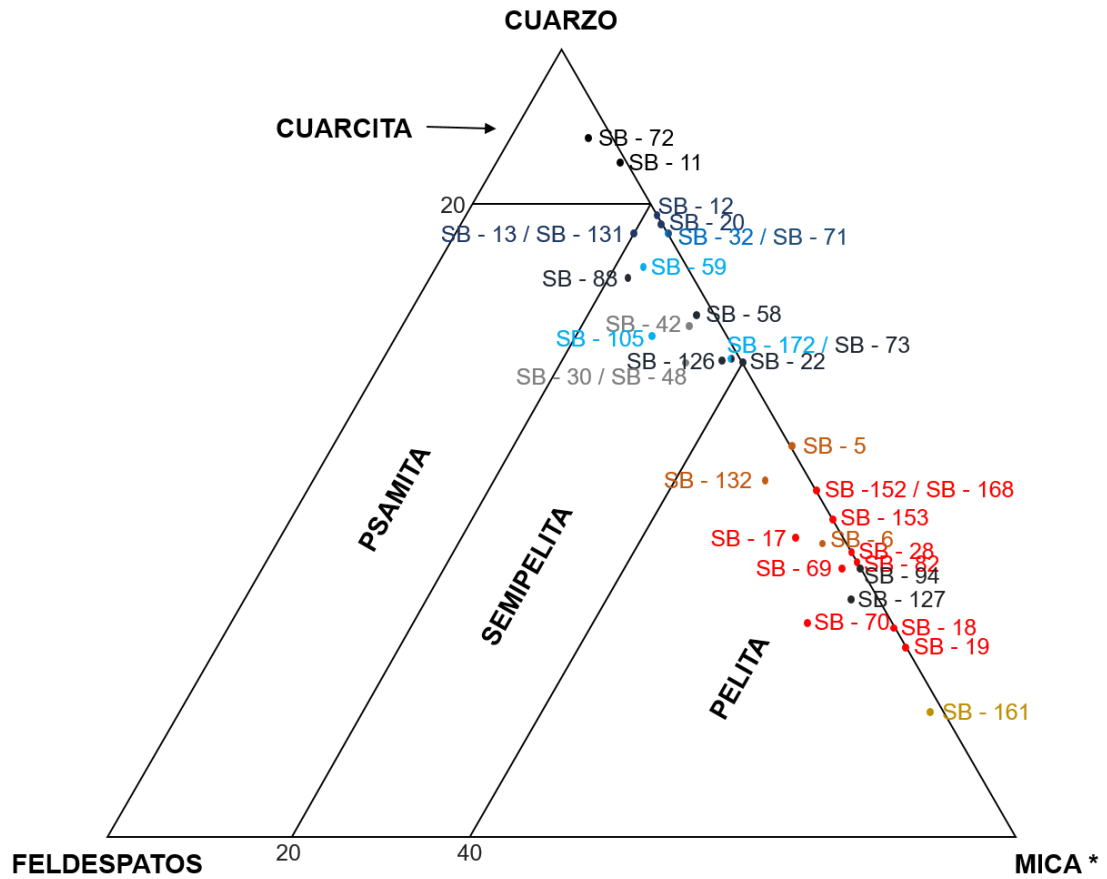
TIPO DE ROCA	LITOTIPO	N° MUESTRA	COMPOSICION MINERAL																		
			Qz	Pl	Kfs	Ms	Bt	Chl	Cld	Grt	St	Ky	Gr	Tur	Zrn	Ttn	Rt	Opq	TOTAL		
PELITICAS	Filita con cloritoide	SB-94	34			50			5				5,4	0,1				5,5	100		
		SB-127	30	3		45			10				7						5	100	
	Esquisto muscovítico con cloritoide	SB-161	15	2		56			10				16	0,1	0,2		0,7			100	
	Esquisto cuarzo-micáceo	SB-5	49			45	4											0,5		1,5	100
		SB-6	37	3		47	11											0,5	1,5		100
		SB-132	45	5		31	12						4,5		1				1,5		100
	Esquisto micáceo con estaurolita y granate	SB-17	38		5	40	12				2	1								2	100
		SB-18	26			45	10					15						0,5		3,5	100
		SB-19	24			47	12				6	8								3	100
		SB-28	36			31	12				8	10								3	100
		SB-69	34	2		40	15					5		0,3		0,1		0,1	0,1	3,5	100
		SB-70	27	1,5	8	30	19	1			4	7			0,1	0,4		0,5	1,5		100
		SB-82	34			30	16				5	10		4			1				100
		SB-152	44			20	24	2			2	5,5		1	0,1	0,1		0,3	1		100
		SB-153	40			25	28				2	4				0,1		0,1	0,8		100
		SB-168	44			33	20				1	1				0,5				0,5	100
SEMIPELITICAS	Esquisto micáceo-cuarzoso con estaurolita	SB-30	60	6		20	9	1			2			0,5	0,5				1	100	
		SB-42	65	3		20	4	1			3			1,5	0,5				2	100	
		SB-48	60	6		12	20				1							0,5	0,5		100
	Esquisto micáceo-cuarzoso con cianita	SB-22	60			26	8					2			0,5				3,5		100
		SB-58	66	2,5		11	10	2				6		0,5	0,5					1,5	100

SEMIPELITICAS	Esquisto micáceo-cuarzoso con cianita	SB-73	60	1		30	3	1				1		1	0,5		2,5	100	
		SB-88	71	7		13	6					0,1		0,3	0,2	0,4		2	100
		SB-126	60	1,8		28	7					2		0,1	0,1			1	100
	Esquisto micáceo-cuarzoso con granate	SB-59	72	5		12	6			2			1	0,5	0,5	0,5		0,5	100
		SB-105	64	5	3	10	14			1					0,3		0,2	2,5	100
		SB-172	60	1		18	10			8			0,4	0,4			0,2	2	100
	Cuarcita biotítica con granate	SB-71	76			2	20			1				0,2	0,2		0,1	0,5	100
	Cuarcita con estaurolita y granate	SB-32	76			6	10			3	1		1	0,5	0,5		1	1	100
	Cuarcita muscovítica	SB-12	79			11	5						1	0,5	1			2,5	100
		SB-13	76	4		17,3							2,5		0,2				100
		SB-20	78			11	9											2	100
SB-131		76	4		11	4						3	1	0,5			0,5	100	
CUARCITAS	Cuarcita	SB-11	85	1,5		9	3						0,5				1	100	
		SB-72	89	3		5	1,5							1		0,5		100	

Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará en rocas meta-carbonatadas.

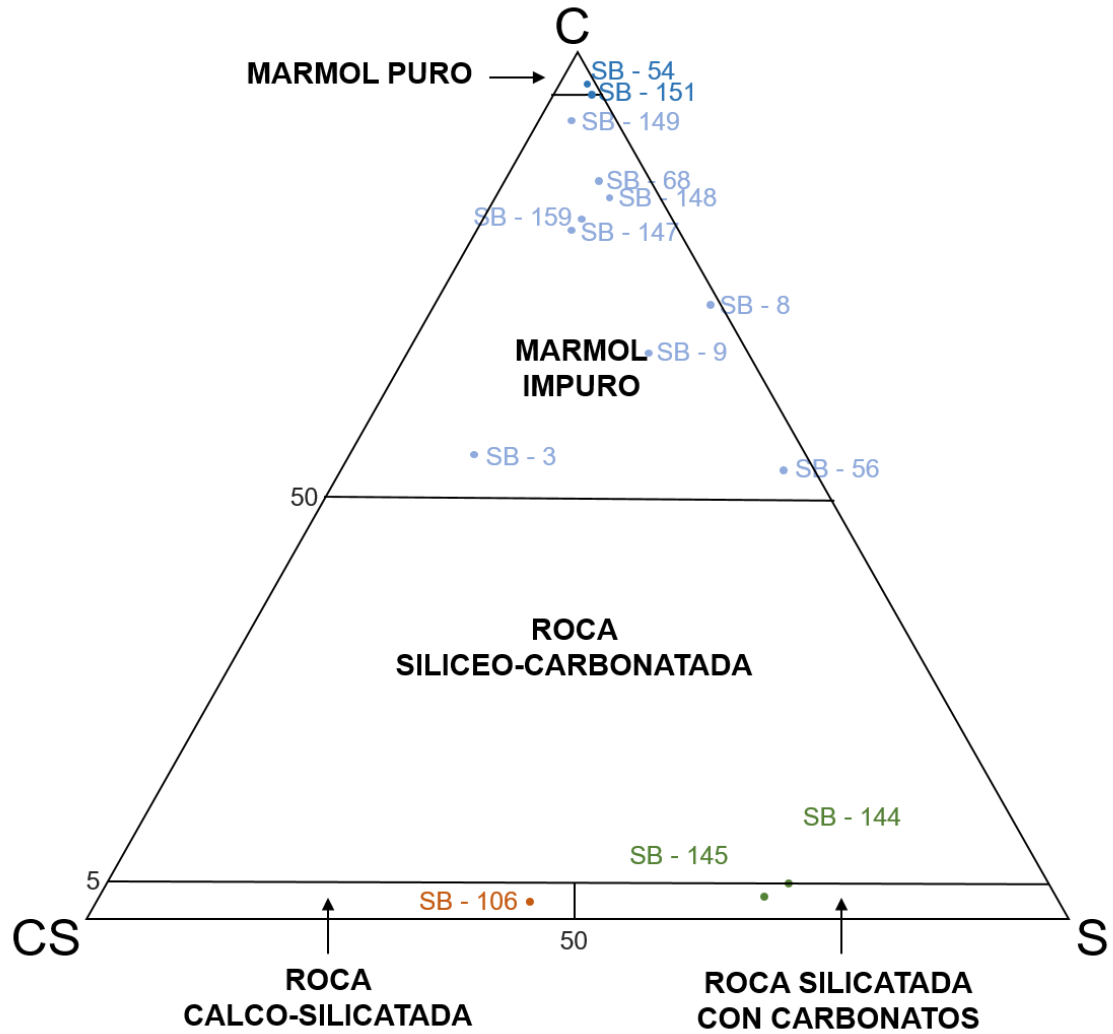
TIPO DE ROKA	LITOTIPO	N° MUESTRA	COMPOSICION MINERAL																						
			Ca l	Qz	Pl	Kf s	M s	Bt	Gr t	Z o	Cz o	Ep	Di	Hb l	Cu m	Tr - Act	Gr	Zr n	Tt n	Op q	P y	TOTA L			
METACARBONATADAS	Mármol Puro	SB-54	96	3,8															0,2			100			
		SB-151	95	3,4									0,5						0,1	1		100			
	Mármol Impuro	SB-3	54	13	7,7						12	4,5	1	3					2,3			2,5		100	
		SB-8	71	27			1												0,5	0,5				100	
		SB-9	65	15					10										7			2,5	0,5	100	
		SB-56	52	45														0,1	0,1	0,8				100	
		SB-68	85	8										4,5					0,5				2	100	
		SB-147	80	3,5					4						8					2		0,5	2	100	
		SB-148	83	4					8											2			1	100	
		SB-149	92	2											4							1		1	100
		SB-150	81	7																3			2	3	100
		SB-159	72	9,5																13,5					100
		Calcosilicada	SB-106	3	20					22	1				35	2,5	13	1				0,5	2		100
	Silicada con carbonatos	SB-144	5	55	17,5	3,8	5	4,5					8,8							0,1		0,3		100	
		SB-145	3,7	58	10	3	5						7		13					0,2	0,1			100	

Figura 6. Subdivisión de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y mica.



Fuente: Robertson (1999)

Figura 7. Diagrama clasificatorio de rocas meta-carbonatadas y rocas afines (C: Carbonatos, CS: Silicatos ricos en calcio, S: Silicatos pobres en calcio)



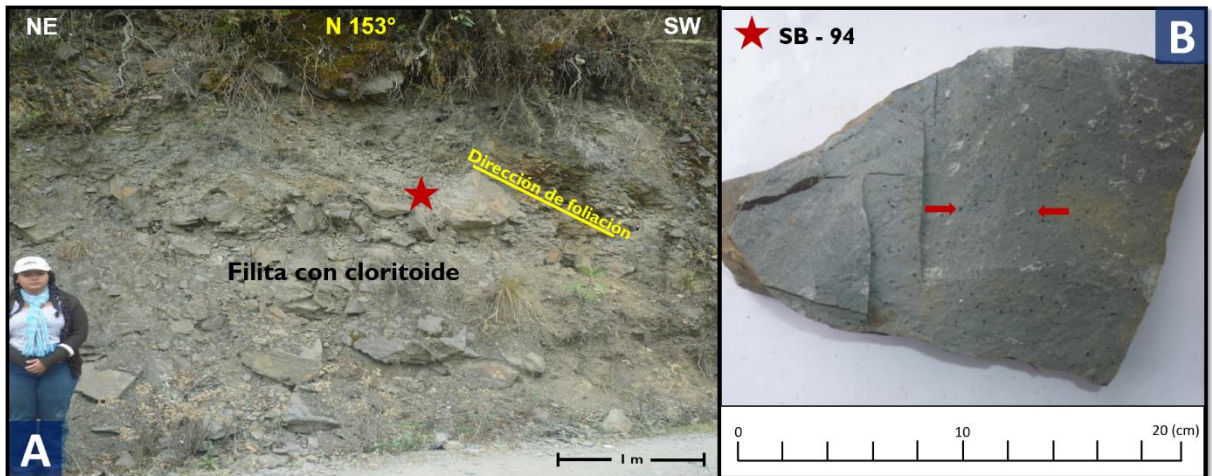
Fuente: Rosen et al. (2007)

7.1 ROCAS META-PELITICAS

Las rocas meta-pelíticas comprenden las filitas con cloritoides, los esquistos muscovíticos con cloritoides, los esquistos cuarzo-micáceos y los esquistos micáceos con estauroлита.

7.1.1 Filitas con cloritoide (Muestras: SB-94 y SB-127): Rocas de color gris oscuro, de tamaño de grano muy fino y con presencia de porfidobláastos de cloritoides de hasta 2 mm (Ver Figuras 8A y 8B). Tienen una dirección de foliación bien marcada a escala de afloramiento y microscópica la cual es definida como la foliación principal de la roca, presenta una segunda foliación marcada por la aparición de los porfidobláastos de cloritoides (Ver Figuras 8B y 11A).

Figura 8. Detalles de las filitas con cloritoides. **A:** Afloramiento de filitas con cloritoide sobre la vía El Alizal – Silos, margen derecho; **B:** Muestra de mano SB-94 donde se muestra la presencia de porfidobláastos de cloritoide.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 2 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2015.

Muscovita (45 - 50%): Agregados minerales hojosos incoloros de relieve medio y colores de interferencia de amarillos y azules de tercer orden. Son subidioblásticos con formas tabulares y bordes irregulares y homeoblásticos de tamaño muy fino (0.06mm de largo). Están ligeramente orientados marcando la dirección de foliación de la roca. Están relacionados en contacto neto con el cuarzo, la plagioclasa y el grafito. Su distribución en la roca se considera homogénea.

Cuarzo (30 - 34%): Encontramos dos generaciones de cuarzos.

Los primeros corresponden a individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden. Son subidioblásticos de formas granulares y homeoblásticos de tamaño muy fino (0.02mm – 0.05mm de largo). Se observan ligeramente orientados de manera concordante a la foliación principal de la roca. Su distribución en la roca se considera como homogénea.

Los segundos son de origen hidrotermal, incoloros de relieve bajo y birrefringencia de primer orden. Son xenoblásticos, se presentan rellenando una fractura que rompe de manera oblicua la foliación principal de la roca. Dichos cristales presenta bandas de deformación. Su distribución en la roca es heterogénea.

Cloritoide (5 - 10%): Individuos porfidoblásticos incoloros de relieve medio y colores de interferencia de gris azulado de primer orden. Son idioblásticos de forma tabular y homeoblásticos con tamaños que varían en los rangos de fino a medio (0.75 mm y los 2 mm de largo). Presentan en su interior impurezas que muestran la estructura típica de “reloj de arena”. Exhiben maclado polisintético. No presentan una orientación definida, están distribuidos de manera aleatoria en la roca. En algunos casos dichos pórfidos están fuertemente oxidados. Dichos pórfidos son post-tectónicos con respecto a la foliación principal de la roca (Ver Figuras 11A y 11B).

Grafito (5.4 - 7%): Individuos negros de lustre metálico, subidioblásticos a xenoblásticos de formas regulares, heteroblásticos de tamaño fino. Se encuentran ligeramente orientados de manera concordante a la foliación general de la roca. Están asociados en contacto neto con muscovitas y cuarzos. Aunque no son abundantes, su distribución en la roca se puede considerar como homogénea.

Minerales Opacos (5 - 5.5%): individuos de color negro, idioblásticos de formas tabulares alargadas, homeoblásticos de tamaño fino (0.15mm de largo). Están ligeramente orientados entre sí, aunque dicha orientación no es concordante a la foliación principal de la roca y sobreimponen tanto a la foliación principal de la roca como a los porfidoblásticos de cloritoide.

Plagioclasa (3%): Cristales incoloros con colores de interferencia de grises de primer orden. Son subidioblásticos de formas granulares y homeoblásticos de tamaño muy fino (0.75mm de largo). Están orientados de forma concordante a la foliación de la roca. Se asocia al cuarzo y a la muscovita en contacto neto. Su distribución en la roca se considera como heterogénea. Están ligeramente alterados a sericita.

La sericita se observa como un agregado micáceo de tamaño ultrafino que reemplaza de manera moderada a la plagioclasa de sus bordes a su interior.

Zircón (0.1%): Individuos incoloros de relieve muy alto y birrefringencia de fucsia y verde de alto orden. Son subidioblásticos de forma granular y ligeramente homeoblásticos de tamaño muy fino (0.06mm). Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

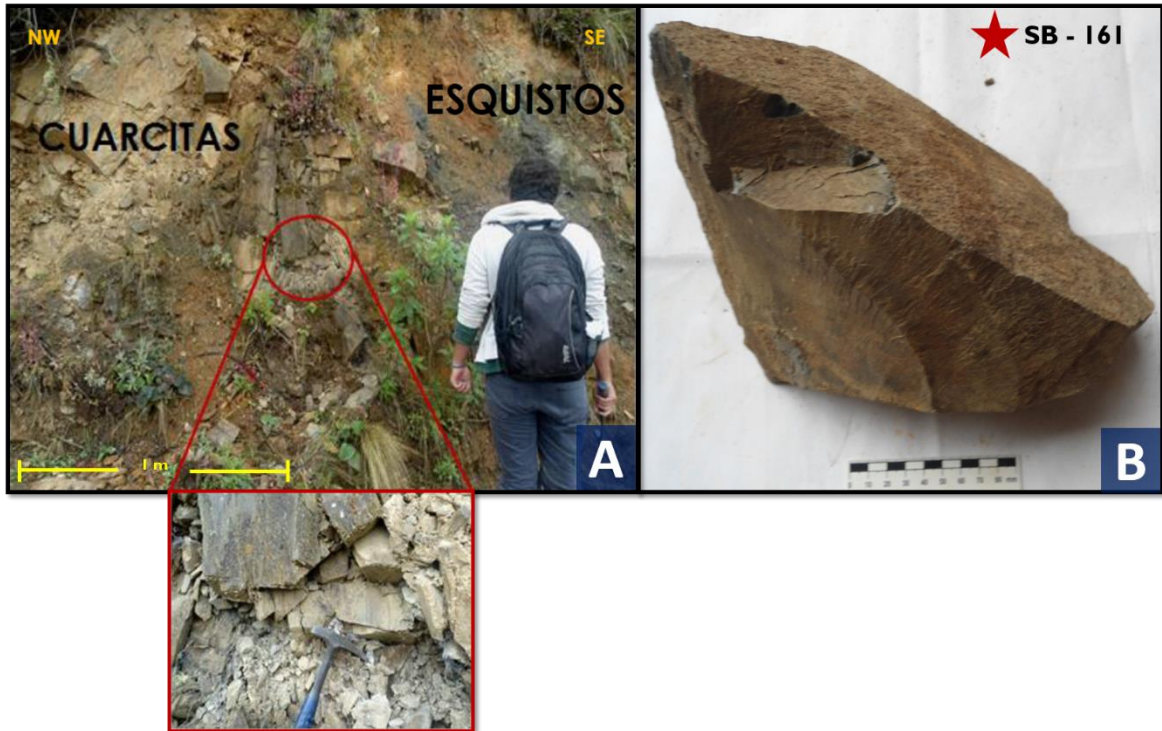
Las rocas presentan una textura principal de tipo granolepidoblástica y localmente se desarrolla la textura porfidoblástica en matriz granolepidoblástica (Ver Figura 11A).

7.1.2 Esquistos muscovíticos con cloritoides (Muestras: SB-161): Rocas de color gris y de estructura esquistosa (Ver Figura 9). Presentan una dirección de exfoliación bien marcada, y una segunda foliación definida por la aparición de cloritoides post – tectónicos. A nivel microscópico se identificaron estructuras de tipo S-C (Ver Figura 11C).

Muscovita (56%): Individuos incoloros de relieve medio, con colores de interferencia de verdes y fucsias de tercer orden. Son subidioblásticos de formas tabulares alargadas, son heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los finos (0.1mm - 0.25mm de largo). Se presentan ligeramente plegadas y están orientadas en dirección de la foliación principal de la roca. Está asociado en contacto neto con el cuarzo. Su distribución en la roca se puede considerar como homogénea.

Grafito (16%): Agregados minerales de color negro, xenoblásticos con formas bastante irregulares y de tamaño muy fino que están organizados en bandas incipientes junto a la muscovita. Su distribución en la roca se puede considerar como homogénea.

Figura 9. Detalles de los esquistos muscovíticos con cloritoides. **A:** Afloramiento con intercalación de cuarcitas muscovíticas foliadas y esquistos muscovíticos con cloritoides en Antomina, margen izquierdo de la carretera; **B:** Muestra de mano del esquisto muscovítico con cloritoide, Muestra SB-161.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 3 de Campo II, Escuela de Geología, segundo semestre del año 2015.

Cuarzo (15%): Tenemos dos generaciones de cuarzo.

La primera generación corresponde a individuos incoloros de birrefringencia de primer orden, subidioblásticos a xenoblásticos con formas prismática cortas y de tamaño muy fino (0.06mm de largo) que se encuentran orientados con dirección a la foliación principal. Están asociados a la muscovita en contacto neto. Su distribución en la roca se considera como heterogénea.

La segunda generación corresponde a un cuarzo hidrotermal de tipo fibroso que rellena una fractura en la roca la cual corta de manera casi perpendicular la foliación.

Cloritoide (10%): Individuos incoloros de relieve medio con colores de interferencia de grises azulosos de primer orden. Son idioblásticos de forma tabular y homeoblásticos de tamaño fino (0.2mm). Algunos de estos cristales exhiben maclado polisintético, otros contienen en su interior impurezas en la zona central sin definir una estructura particular. No presentan una orientación que sea concordante a la foliación de la roca; la disposición de dichos individuos es desordenada entre sí y su distribución es heterogénea. Algunos de estos individuos se observan altamente oxidados (Ver Figura 11C).

Plagioclasa (2%): Minerales incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden. Generalmente subidioblásticos de formas tabulares y de tamaño muy fino que se encuentran típicamente maclados. Está asociado en contacto neto al cuarzo. Su distribución en la roca es heterogénea.

Rutilo (0.7%): Minerales de color pardo rojizo, subidioblásticos de formas cuadradas y xenoblásticos con formas bastante irregulares que se encuentran asociados a cuarzos o bordeando las fracturas de la roca.

Zircón (0.2%): Individuos incoloros de relieve muy alto y colores de interferencia de verde, azul, fucsia; subidioblásticos de forma granular, no presentan una orientación definida y está asociado en contacto neto con cuarzo, muscovita y grafito. Su distribución en la roca es heterogénea.

Turmalinas (0.1%): Individuos color verde claro ligeramente pleocroicos, con colores de interferencia de azules, fucsias y amarillo de tercer a cuarto orden. Son idioblásticos con formas prismáticas alargadas o subidioblásticos de formas granulares. No presentan una orientación definida y están asociados en contacto

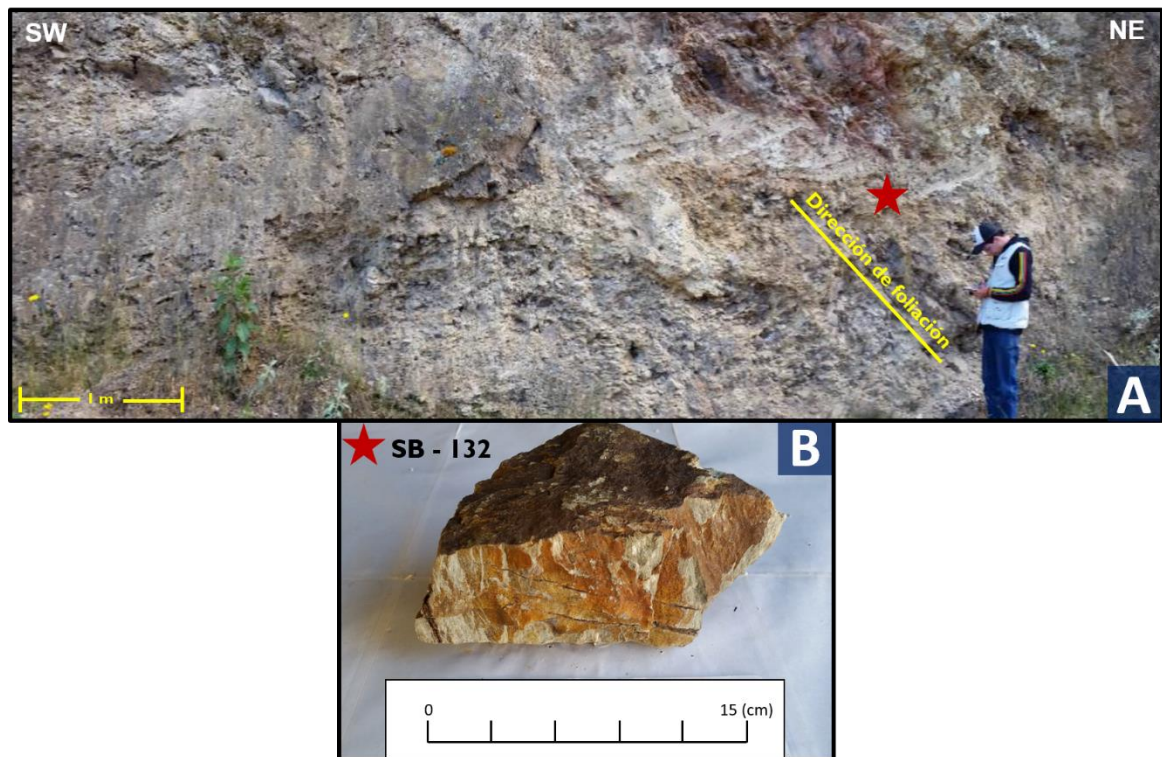
neto a los cuarzos, grafito y muscovitas principalmente. Su distribución en la roca es heterogénea.

La roca presenta una textura general de tipo granolepidoblástica.

7.1.3 Esquistos cuarzo-micáceos (Muestras: SB-5, SB-6 y SB-132): Roca de color gris claro ligeramente alterada. Presenta una estructura esquistosa la cual está fuertemente microplegada (SB-5 y SB-6) y milonitizada (SB-132). En general es homeoblástica con tamaño de cristal medio (Ver Figura 10). Su composición mineralógica general es de cuarzo, muscovita, biotita, plagioclasa, grafito y minerales opacos; el zircón y el rutilo se presentan como minerales accesorios, la clorita y la sericita se observan como minerales de alteración de la biotita y la plagioclasa respectivamente. Las muestras SB-6 y SB-132 están mucho más enriquecidas en biotita en comparación a la muestra SB-05.

Cuarzo (37 - 49%): Cristales de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden que se presentan como individuos lenticulares y como agregados cristalinos, subidioblástico y ligeramente homeoblásticos de tamaño de cristal fino (0.3mm – 0.6mm). Están dispuestos de manera alargada en sentido de la foliación general de la roca dentro de dominios de microlitones (S_{n+2}) y de manera concordante al microplegamiento. Se observa una disminución en el tamaño de los cuarzos que se ubican en las zonas de charnela de las rocas microplegadas, extinción ondulante en los cristales de mayor tamaño y bordes de subgranos que indican recristalización en aquellos cuarzos aislados dentro de los dominios de clivaje. Están asociados a las bandas de muscovitas y biotitas. Su distribución en la roca es más o menos homogénea.

Figura 10. Detalles de los esquistos cuarzo-micáceos. **A:** Afloramiento de esquistos cuarzo-micáceos milonitizados, Bábega - Norte de Santander (X=1'288.111; Y=1'149.869). **B:** Muestra de mano SB-132.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 4 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2015.

Muscovita (31 - 47%): Agregados hojosos de relieve medio y colores de interferencia de fucsias, verdes y azules de tercer orden. Son subidioblásticos de formas alargadas y heteroblásticos con tamaños de grano que varía de fino a medio (0.25mm – 2mm de largo); presentan extinción típica moteada. Se disponen en formas de bandas microplegadas, marcando así la dirección de la foliación principal (S_{n+2}) y la de la foliación incipiente (S_{n+3}) (Ver Figura 11D); también se le observa como dominios de clivajes dentro de la estructura milonítica definiendo una foliación

de tipo espaciada; según la clasificación de Passchier y Trouw (2005)⁷⁶ dichos dominios de clivaje se pueden describir como clivajes de forma suave con una relación paralela entre sí. Está asociado en contacto neto con las biotitas y el cuarzo. Aunque se encuentra más concentrada en algunos sectores, de manera general, se puede considerar que su distribución en la roca es más o menos homogénea.

Biotita (4 - 12%): Corresponden a individuos pleocroicos de color verde, con forma alargada y de tamaño muy fino (0.04mm de largo) las cuales presentan una orientación concordante a la foliación microplegada definida por las bandas de muscovita. También es común vérselos dentro de los dominios de microlitones asociado al cuarzo. Su distribución en la muestra es heterogénea y esta alterada de manera moderada a clorita.

La clorita se observa como un mineral que reemplaza las biotitas desde los bordes al interior. Exhiben un color verde más pálido, su disposición es concordante con las biotitas que alteran y su distribución es heterogénea en la roca.

Plagioclasa (3 - 5%): Minerales incoloros a amarillo pálido con colores de interferencia correspondientes a grises de primer orden, subidioblásticos y heteroblásticos de tamaño fino (0.25mm de largo). En la mayoría de los casos exhiben el típico maclado polisintético y maclado mecánico (Ver Figura 11F). Se observan en las zonas de charnela junto con los cuarzos recristalizados en las rocas con microplegamiento, como cristales aislados dentro de los dominios de clivaje y como cristales alargados en los dominios de microlitones. Presenta una alteración leve a sericita.

⁷⁶ PASSCHIER, W. and TROUW, R., op. cit, p.27.

La sericita se observa como agregado ultrafinos de forma hojosa y colores de interferencia brillantes que remplazan de manera débil a fuerte los minerales de plagioclasa.

Grafito (4.5%): Mineral de color negro, xenoblástico y heteroblástico de forma alargada que se encuentra orientado de manera concordante con la dirección de foliación principal de la roca (SB-132). Está asociado a las micas y se podría decir que su distribución es más o menos homogénea.

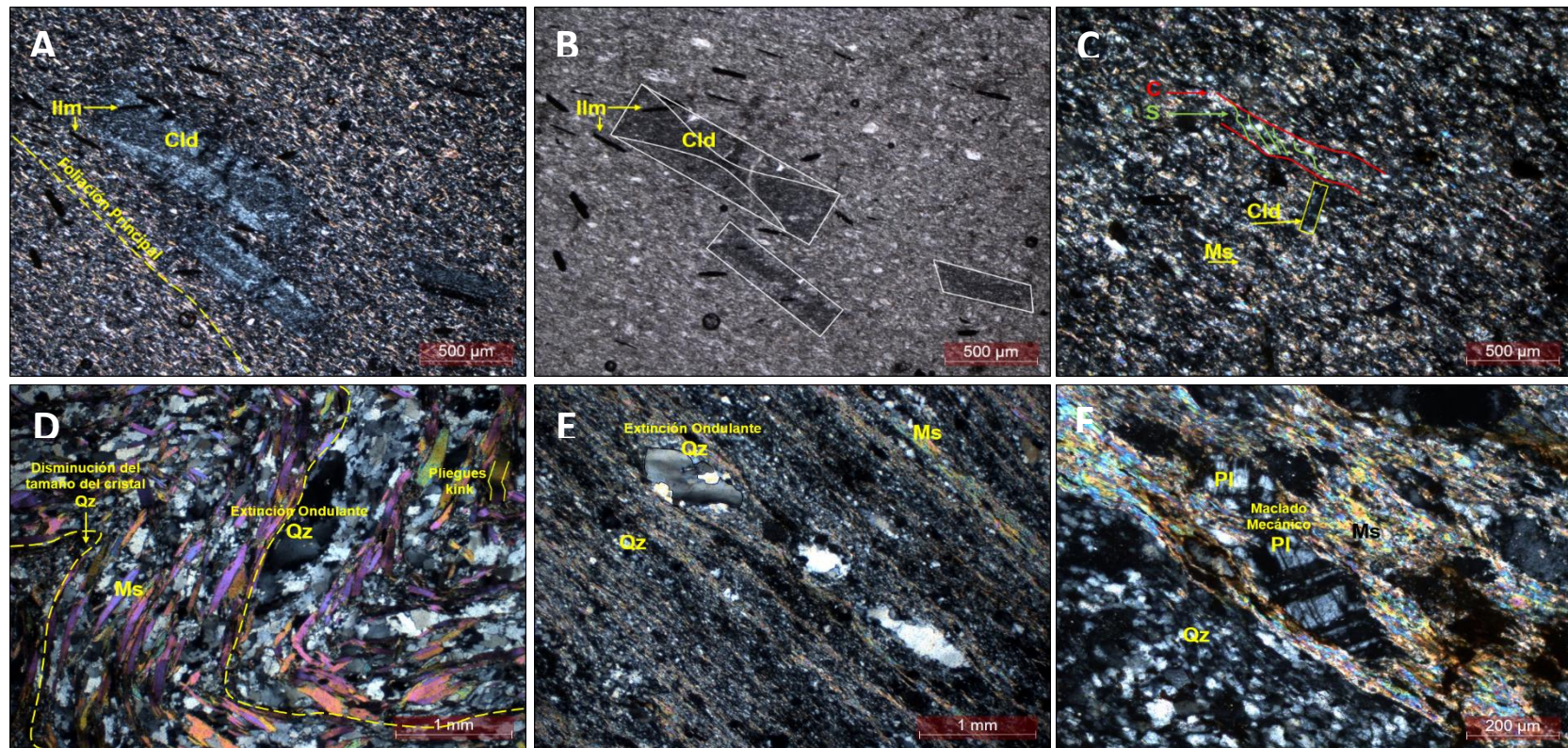
Rutilo (1.5%): Minerales pardos rojizos, subidioblásticos, su forma varia de tabular a xenoblástica, están asociados principalmente a las muscovitas y presenta una orientación concordante con la exfoliación de estas. Su distribución es más o menos heterogénea en la sección.

Minerales Opacos (1.5%): Minerales incoloros, con alta birrefringencia y de tamaño fino (0.3 mm), presentan fracturamiento y se le encuentra asociado a las bandas de muscovitas.

Zircón (0.5 - 1%): Individuos incoloros a ligeramente coloreados de relieve alto y birrefringencia alta, idioblásticos con tamaño fino (0.1mm) que están asociados a los cuarzos. Su distribución es bastante heterogénea.

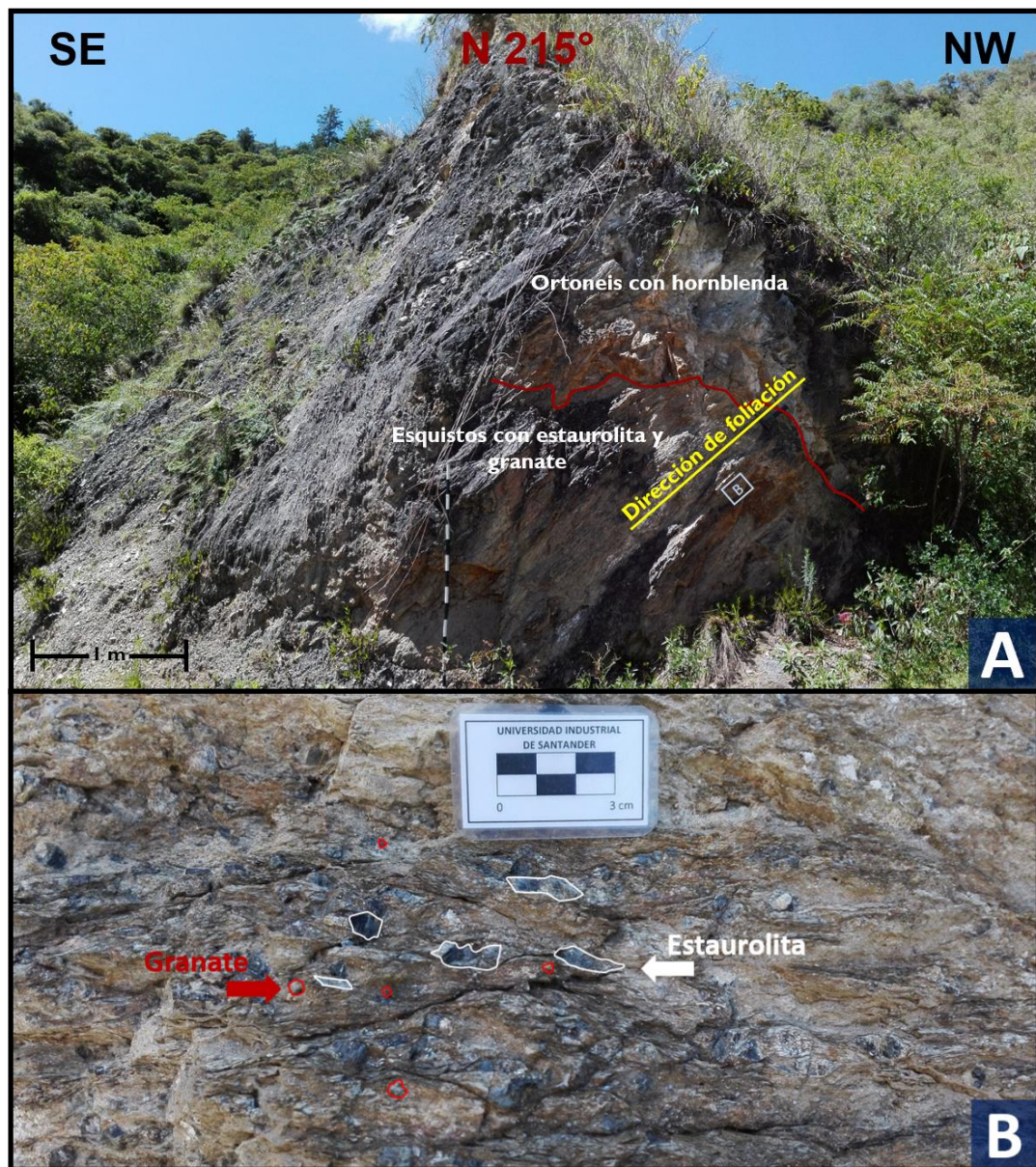
La roca presenta en general una textura de tipo granolepidoblástica; de manera local tenemos la textura milonítica (deformación dúctil).

Figura 11. Microfotografías de las filitas con cloritoides, los esquistos muscovíticos con cloritoides y los esquistos cuarzo-micáceos. A-B: Porfidoblástos de cloritoides con estructura de reloj de arena, textura porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, Muestra SB-94; **C:** Fábrica S-C, Muestra SB-161; **D:** Microplegamiento, disminución del tamaño de cristales de cuarzo en la zona de charnela, extinción ondulante en cuarzo y pliegue tipo “kink” en muscovita, Muestra SB-5; **E:** Textura milonítica y cuarzo con extinción ondulante, Muestra SB-132; **F:** Maclado mecánico en plagioclasa, Muestra SB-132. (A-C-D-E-F) Nicoles cruzados, (B) Nicoles paralelos.



7.1.4 Esquistos micáceos con estaurolita y granate (Muestras: SB-17, SB-18, SB-19, SB-28, SB-69, SB-70, SB-82, SB-152, SB-153 y SB-168):

Figura 12. Detalles de los esquistos micáceos con estaurolita y granate. A: Afloramiento de esquistos micáceos con estaurolita y granate en contacto discordante con el Ortoneis, margen derecho de la vía Silos-Vichagá a 1 km del Puente Caraba; **B:** Acercamiento al afloramiento donde se muestra en detalle los porfidoblástos de estaurolita y granate.



Rocas de color gris con tonalidades cafés, de brillo sedoso, de estructura esquistosa que en la mayoría de los casos esta microplegada. De manera general están compuestos por muscovita, cuarzo y biotita de tamaño fino cuya orientación marca la foliación principal de la roca (S_{n+2}); la estaurolita y el granate se observan como porfidoblástos de tamaños variables que alcanzan hasta los 3.5 cm de largos (Ver Figura 12B). Así mismo, se encontraron magnetitas (SB-69) y biotitas porfidoblásticas (SB-19, SB-70, SB 82, SB-152 y SB-153) que junto a los granates y estaurolitas muestran ser pre-tectónicos con respecto a la foliación principal de la roca, pero post-tectónicos al evento que formo las inclusiones minerales orientadas que se hallan en dichos porfidoblástos, marcando así la dirección de foliación considerada como S_{n+1} . Como minerales accesorios se tiene el grafito, titanita, turmalina, zircón y rutilo, mientras que la sericita, el caolín y la clorita se encuentran como minerales de alteración. Microscópicamente se evidencia una foliación espaciada con dominios de clivaje de tipo suave-corrugado con una relación paralela-anastomosada.

Muscovita (20 - 47%): Minerales incoloros de relieve medio y colores de interferencia correspondientes a verdes, fucsias, amarillos, morados y azules de tercer orden. Son subidioblásticos de hábito hojoso y homeoblásticos de tamaño fino (0.2mm). Presentan una dirección de exfoliación bien marcada y la típica extinción moteada. Su orientación marca la dirección de foliación principal de la roca (S_{n+2}), están afectados por microplegamiento mostrando una dirección de foliación incipiente (S_{n+3}) (Ver Figura 14F). Está asociado con biotita formando bandas poliminerálicas y dominios de clivaje, de igual manera se le ve asociado en contacto neto con cuarzo en sombras de presión de los porfidoblástos. Su distribución en la roca se puede considerar como homogénea.

Cuarzo (24 - 44%): Agregados incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden orientados conforme a las direcciones de foliaciones S_n y S_{n+2} . Varían de idioblásticos a subidioblásticos y son heteroblásticos con tamaños de grano muy fino a fino (0.08mm – 0.75mm de largo). Se encuentran como cristales limpios generalmente orientados dentro de los porfidoblóstos de granate y estaurolita, como cristales elongados en los dominios de microlitones junto con la plagioclasa y el feldespato potásico y en las sombras de presión de los porfidoblóstos de estaurolita y granate. Su distribución en la roca se puede considerar como homogénea.

Figura 13. Muestra de mano de esquistó micáceo con estaurolita y granate (Muestra SB-82). Se indica la dirección de foliación principal de la roca (S_{n+2}) y la presencia de pórfidos de estaurolita y granate.



Biotita (10 - 28%): Cristales de color verde a marrones rojizos, fuertemente pleocroicos que ocurren como individuos porfidoblásticos y agregados cristalinos subidioblásticos de hábito laminar. Los individuos porfidoblásticos son pre-tectónicos con respecto a la foliación principal de la roca, indicando así la dirección de foliación S_{n+1} , de tamaño fino (0.2mm – 0.6mm de largo) que se hayan dentro de los dominios de microlitones y de clivaje, es común encontrar en su interior cristales de cuarzo no orientados; son mucho más grandes y abundantes en las rocas donde hay menor cantidad de estaurolita (SB-152, SB-153). Por otro lado, los agregados cristalinos son concordantes a la foliación S_{n+2} , se encuentran formando bandas poliminerálicas y en las sombras de presión de los porfidoblásticos; están asociados a las muscovitas principalmente. Su distribución en la roca se considera como heterogénea. Están alterados de manera moderada-fuerte a clorita (Ver Figuras 14C y 14E).

La clorita se observa como un cristal de color verde ligeramente pleocroico con birrefringencia de verdes grisáceos y azules anómalos que remplaza de manera moderada a fuerte a las biotitas.

Estaurolita (1 - 15%): porfidoblásticos de color amarillo, fuertemente pleocroicos y con colores de interferencia de primer orden. Varían de idioblásticos con formas prismáticas alargadas (Ver Figura 14C) a xenoblásticos de textura esquelética (Ver Figura 14E), son heteroblásticos con tamaños de grano que van desde medio a muy grueso (3mm – 3.5cm). Se encuentran ligera-moderadamente fracturados en dos direcciones (de forma paralela y perpendicular a la foliación principal) y en la mayoría de los casos muestra el típico maclado en cruz. Los porfidoblásticos son bordeados por las micas que siguen la dirección principal de la roca y es común vérselos rotados. Presentan en su interior pequeños cristales de cuarzo muy limpios y minerales opacos alargados cuya disposición no es concordante con la foliación principal de la roca, lo cual indica el carácter pre-tectónico tanto de los porfidoblásticos como de las inclusiones. Están asociados a los granates, los cuales se pueden

encontrar como porfidoblástos de menor tamaño incluidos dentro de las estaurolitas idioblásticas. Aunque no son los minerales más abundantes, su distribución en la roca se puede considerar homogénea; se encuentran alterados a sericita y clorita.

La sericita se encuentra como un agregado hojoso incoloro de relieve medio y colores de interferencia correspondientes a amarillo, rosa pastel y azul de tercer orden. Remplazan la estaurolita de los bordes al interior o en los sectores medios aprovechando las fracturas.

La clorita es xenoblástica de color verde claro ligeramente pleocroica, con colores de interferencia de verdes grisáceos a azules anómalos que reemplaza a la estaurolita aprovechando las fracturas.

Feldespatos Potásico (5 - 8%): Individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia correspondientes a grises de primer orden. Son subidioblásticos con formas granulares, heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los finos (0.25mm – 0.5mm). Los de mayor tamaño se muestran claramente alargados y dispuestos de manera concordante a la foliación principal de la roca (S_{n+2}). Está asociado en contacto neto con el cuarzo y las plagioclasas. No se presentan de manera común en este tipo de rocas (presente solo en las muestras SB-17 y SB-70) y su distribución es heterogénea. Algunos de estos individuos cristalinos están alterados de forma moderada a caolín.

El caolín se observa como un agregado de finos cristales incoloros de relieve bajo a medio y una birrefringencia de grises de primer orden que se encuentran en los bordes y partes medias de los cristales de feldespatos potásicos.

Granate (2 - 8%): Porfidoblástos incoloros de relieve muy alto, idioblásticos de formas ovaladas a prismáticas en formas hexagonales (Ver Figura 14B) y xenoblásticas con textura esqueletal (Ver Figura 14A), son heteroblásticos con

tamaños que varían de finos a medios (0.75mm – 3.5mm). Presentan en su interior cristales de cuarzo y minerales opacos en algunos casos orientados, formando bandas plegadas que no son concordantes con respecto a la foliación principal de la roca (Ver Figura 14B). Aunque la matriz de la roca muestra una fuerte deflexión hacia los bordes de estos porfidobláastos, el patrón de las inclusiones no concordantes con la foliación externa indican que estos son pre-tectónicos a S_{n+2} . Se relacionan de manera estrecha con la estaurolita como pequeños pórfidos incluidos en grandes cristales idioblásticos, o como grandes porfidobláastos en contacto neto con estaurolitas esqueléticas. Su distribución en la roca es heterogénea y se encuentran alterados levemente a clorita.

La clorita se observa como una banda de color verde que exhibe colores de interferencia de verdes grisáceos y azules anómalos que se desarrollan a expensas del granate en sus bordes o aprovechando las zonas de fractura del mismo.

Grafito (0.3 - 4%): Individuos de color negro y lustre metálico, xenoblástico alargados, orientados en la dirección de la foliación principal, haciendo parte de la matriz mineral, con una distribución más o menos homogénea en la sección. Se evidencia solo en las muestras SB-69, SB-82 y SB-152.

Minerales Opacos (0.8 - 3.5%): Ocurren como individuos subidioblásticos y homeoblásticos de formas tabulares y de tamaño fino (0.1mm) que se encuentran como inclusiones en los porfidobláastos de granate y estaurolita orientados de manera concordante a S_n y en la matriz de la roca, alargado en la dirección de la foliación principal (S_{n+2}) asociado principalmente a los dominios de clivaje. De manera menos común se encuentran como individuos porfidoblásticos xenoblásticos (Ver Figura 14D, SB-69) concordantes a la foliación S_{n+1} .

Plagioclasa (1.5 - 2%): Individuos ligeramente coloreados, no pleocroicos de relieve bajo, con formas redondeadas y homeoblásticas de tamaño fino. Muestran un maclado polisintético algo débil y en algunos casos se observan fuertemente fracturados; se encuentran asociados a los cuarzos en los dominios de microlitones, concordantes a la foliación S_{n+2} . Su presencia en este tipo de roca no es muy común (presente en las muestras SB-69 y SB-70) y su distribución es heterogénea.

Clorita (1 - 2%): Se presentan como individuos de color verde pálido a casi incoloros, con birrefringencia de grises y verdes anómalos, subidioblásticos con formas tabulares de terminaciones irregulares, son heteroblásticos con tamaños de grano que van desde finos a medio (0.25mm – 1mm). Se observan sobreimpuestos a la foliación principal de la roca e incluso al microplegamiento (Ver Figura 14F), lo cual indica que su cristalización es post-tectónica a S_{n+3} . Su distribución en la roca es heterogénea.

Titanita (1%): Individuos de color café de alto relieve, xenoblásticos elongados y de tamaño fino (0.25mm), inmersos en la matriz de la roca e incluidos en porfidoblastos de estaurolita.

Turmalina (0.1%): Individuos de color verde ligeramente pleocroicos que tienden a ser más oscuros o azulosos en su interior y ligeramente más claros en sus bordes. Exhiben colores de interferencia de tercer orden. Están asociados principalmente a los cuarzos en contacto neto. Su distribución en la roca es heterogénea.

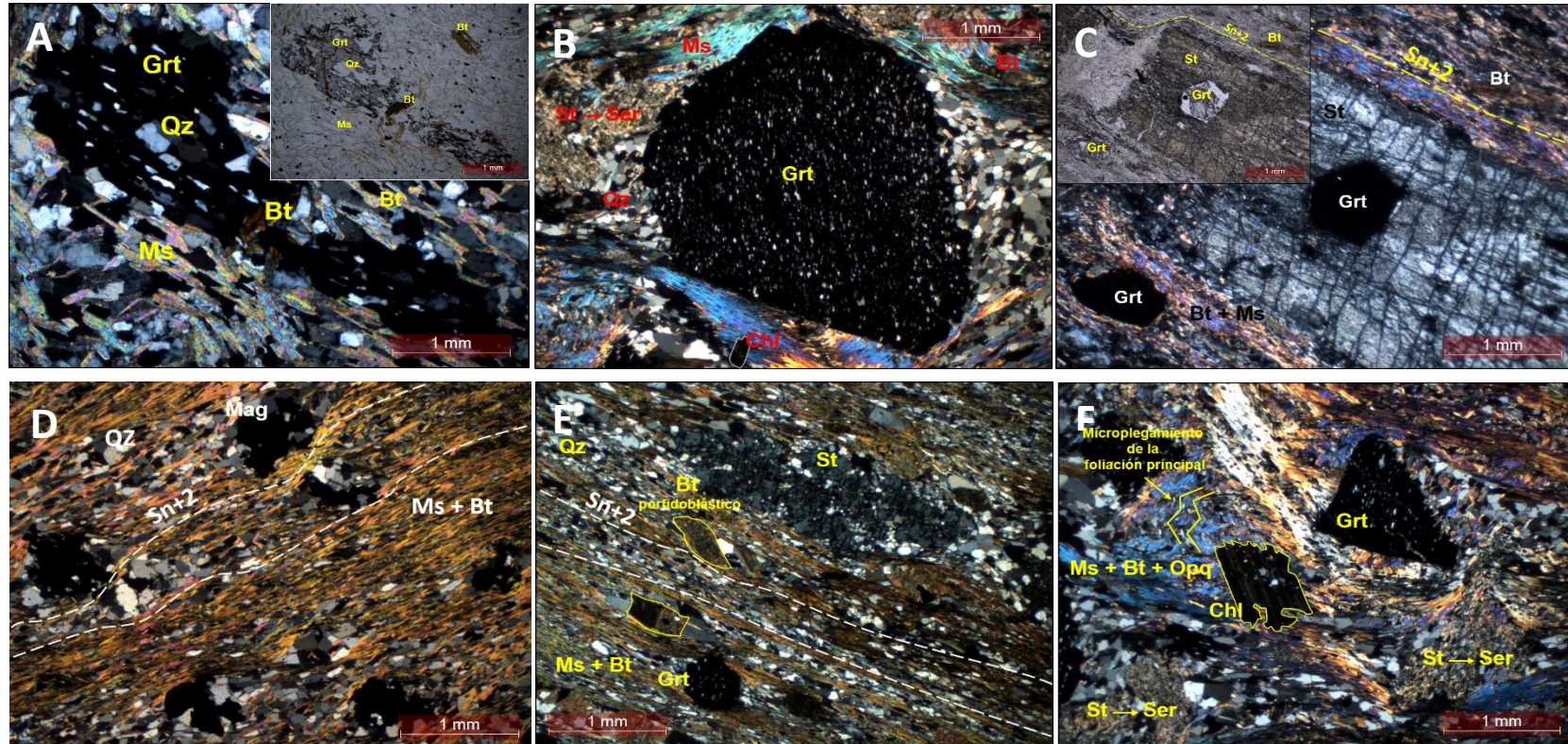
Zircón (0.1 - 0.5%): Individuos incoloros de relieve muy alto y colores de interferencia de verdes y fucsias de alto orden. Se encuentran generalmente en los

bordes o incluidos dentro de los cristales de cuarzo. Su distribución en la roca es heterogénea.

Rutilos (0.1 - 0.5%): Individuos de color pardo rojizo de tamaño fino y subidioblásticos de formas ligeramente tabulares que se encuentran asociados a los dominios de microlitones. Su distribución en la roca es heterogénea.

Este tipo de rocas presentan una textura general de tipo granolepidoblástica. De manera local tenemos las texturas porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, poiquiloblástica y esquelética.

Figura 14. Microfotografías de los esquistos micáceos con estaurolita y granate. **A:** Porfidoblásto esquelético de granate con inclusiones de cuarzo, Muestra SB-17; **B:** Porfidoblásto de granate con inclusiones orientadas marcando la foliación S_n , textura poiquiloblástica, Muestra SB-70; **C:** Porfidoblásto idioblástico de estaurolita con inclusión de granates, textura porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, Muestra SB-82; **D:** Porfidoblásto de minerales opacos (magnetita), clivaje corrugado, Muestra SB-69; **E:** Estaurolita porfidoblástica esquelética, biotita porfidoblástica, granate idioblástico, dominio de clivaje suave, Muestra SB-152; **F:** Clorita porfidoblástica post-tectónica que sobre-impone el microplegamiento de la foliación principal. (A) Nícoles paralelos, (B-C-D-E-F) Nícoles cruzados. Recuadros: (A) Nícoles cruzados, (B-C-E) Nícoles paralelos.



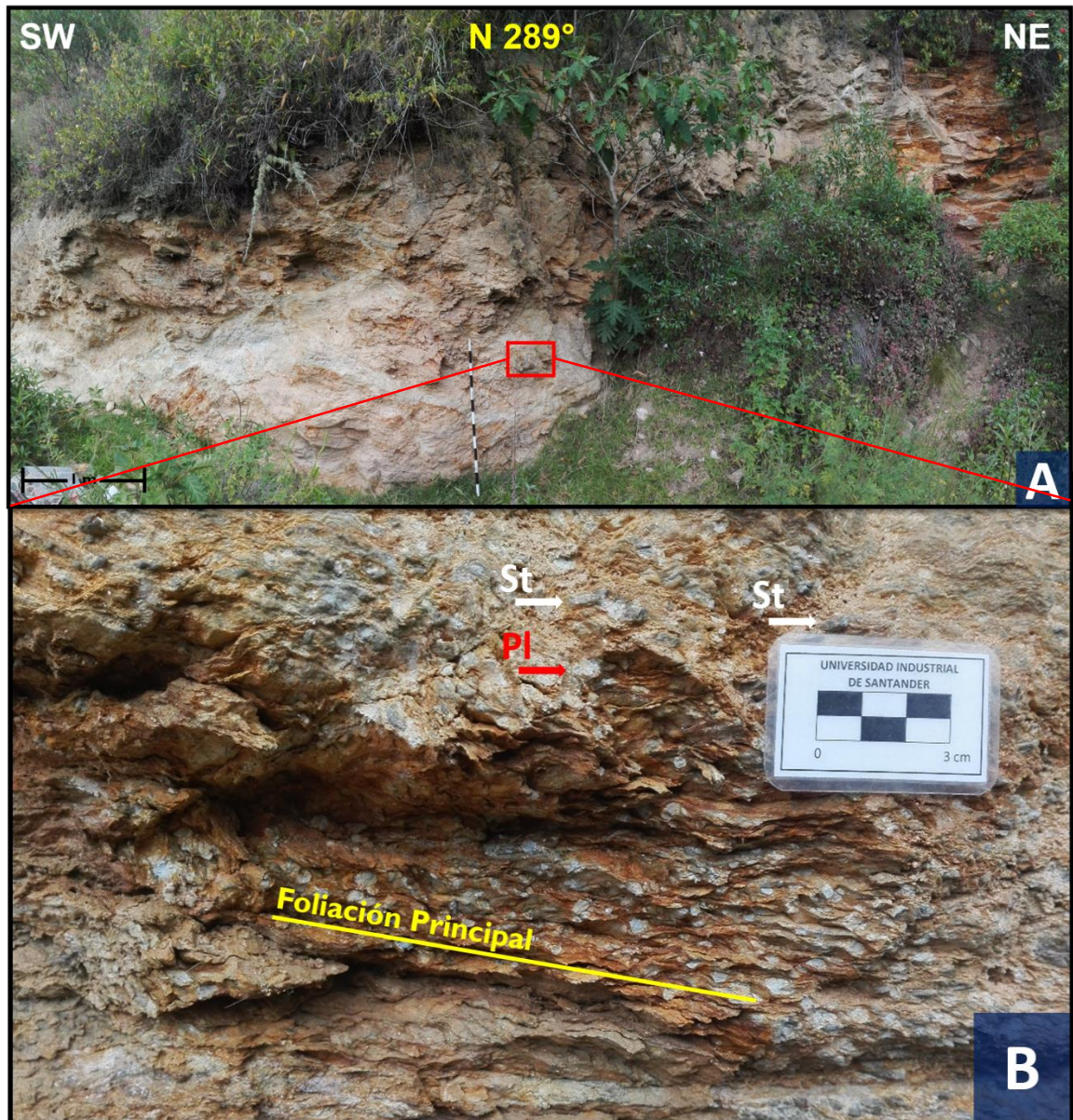
7.2 ROCAS META-SEMIPELITICAS

Entre el grupo de las rocas meta-semipelíticas tenemos los esquistos micáceos-cuarzosos con estaurolita, esquistos micáceos-cuarzosos con cianita, esquistos micáceo-cuarzosos con granate, cuarcitas biotíticas con granate, las cuarcitas con estaurolita y granate y las cuarcitas muscovíticas. A continuación se describen a detalle cada uno de estos litotipos:

7.2.1 Esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita (Muestras: SB-30, SB-42 y SB-48): Rocas de tonalidad gris, bien compactadas y de estructura esquistosa bien definida. Son predominantemente homeoblásticos con tamaño de cristal medio (Ver Figura 15). En su composición mineralógica predominan los cuarzos, muscovitas, biotitas, plagioclasas y estaurolitas; la clorita, turmalina, zircón, minerales opacos y rutilos se presentan como minerales accesorios. Las estaurolitas, plagioclasa y algunas biotitas se presentan como porfidoblástos pre-tectónicos a la foliación principal, en algunos casos incluyen cuarzos y minerales opacos no orientados. La foliación varía de continua (SB-30) a espaciada de forma suave y anastomosada (Ver Figura 17D).

Cuarzo (60 - 65%): Se presentan como agregados minerales incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden, son idioblásticos-subidioblásticos y ligeramente homeoblásticos con tamaños de cristal de fino a medio (0.5mm – 1mm de largo). Los de mayor tamaño se presentan orientados con respecto a la foliación principal de la roca (S_{n+2}) haciendo parte de dominios de microlitones y se asocian en contacto neto con muscovitas y biotitas; por otro lado, las de menor tamaño son mucho más limpias y se encuentran incluidas dentro de porfidoblástos de estaurolitas y plagioclasas sin mostrar una orientación definida. Su distribución en la muestra es considerada homogénea.

Figura 15. Detalles de los esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita. **A:** Afloramiento de esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita, margen derecho de la Vía Silos – Puente Caraba, a aproximadamente 625m del puente.; **B:** Acercamiento al afloramiento donde se muestra en detalle los porfidoblástos de estaurolita, plagioclasa y la dirección de foliación principal (S_{n+2}).



Muscovita (12 - 20%): Ocurren como agregados hojosos incoloros de relieve medio con colores de interferencia de segundo y tercer orden correspondientes a verdes, azules y fucsias, con extinción paralela y moteada típica. Son idioblásticos-subidioblásticos de hábito laminar y exhiben bordes bien desarrollados con terminaciones típicas irregulares. Es de manera general homeoblástica con un tamaño de grano en el límite fino-medio (1mm de largo). Su orientación define la foliación principal de la roca (S_{n+2}), está asociada de manera estrecha a la biotita con la cual forma dominios de clivaje. Se presentan distribuidos de manera homogénea en la sección analizada.

Biotita (4 - 20%): Individuos de color marrón pardo a verde muy pálido, pleocroicos de hábito laminar. Se presentan como individuos ligeramente porfidoblásticos concordantes a S_{n+1} y como agregados de tamaño medio asociados a los dominios de clivaje junto con la muscovita definiendo la foliación S_{n+2} . Los de tipo porfidoblástico contienen en su interior cristales de cuarzo y minerales opacos no orientados y en algunos casos muestran estructuras tipo "fish". No se presenta en cantidades similares en todas las muestras analizadas (es más abundante en la SB-48). Su distribución en la roca es heterogénea. Presentan alteración moderada a clorita.

Las cloritas se observan como minerales hojosos de color verde muy pálido que remplazan de manera ligera las biotitas exhibiendo colores de interferencia de azules anómalos.

Plagioclasa (3 - 6%): Corresponden a individuos incoloros de relieve bajo a medio, con birrefringencia de primer orden, son heteroblásticos, subidioblásticos-xenoblástico con tamaños de grano que varían desde finos a gruesos, presentándose de manera general en forma de pórfidos esqueléticos o como pequeños cristales ovalados concordantes a S_{n+2} . Presentan en su interior cristales

de cuarzo. Están dispuestos de manera elongada concordante con la foliación principal, en algunos casos se encuentran bordeados por bandas de micas. Aunque su distribución en la muestra es heterogénea son bastante notables. Las de mayor tamaño presentan una alteración fuerte a sericita.

La sericita se observa como agregados de micas incoloras de relieve medio y colores de interferencia correspondiente a grises y amarillos de primer orden que remplazan lo que al parecer eran minerales de plagioclasa de tamaño medio y en algunos casos correspondientes a pórfidos.

Estaurolita (1 - 2%): Individuos porfidoblásticos de relieve alto, subidioblásticos-xenoblásticos con textura esquelética en sus bordes, son heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de grano medio (1mm – 2.5mm de largo); con algunas inclusiones de cuarzo muy limpio. Se presentan fuertemente fracturados. En algunos de los casos es posible observarse la macla típica en cruz de la estaurolita (Ver Figura 17B). Los de menor tamaño se muestran alargados de manera concordante a la foliación principal de la roca, mientras que los de mayor tamaño muestran claramente su naturaleza pre-tectónica debido a la deflexión de la foliación externa y la disposición al azar de las inclusiones. Al igual que las plagioclasas, se presentan alterados de manera moderada a fuerte a sericita.

La sericita en este caso se encuentra como agregados micáceos de tamaño ultrafino que aprovecha las fracturas del mineral para desarrollarse.

Clorita (1%): individuos incoloros con birrefringencia correspondiente a verdes grisáceos. Son subidioblásticos de forma laminar y heteroblásticos de tamaños de grano fino-medio, Se sobre imponen a la foliación principal de la roca. Su distribución en la roca es heterogénea (Ver Figura 17A).

Turmalina (0.5 - 1.5%): Individuos pleocroicos de color verde, relieve medio a alto y birrefringencia bastante fuerte exhibiendo en algunos casos colores de interferencia correspondientes a azules, morados y fucsias de segundo y tercer orden. Son de idioblásticos-subidioblásticos, heteroblásticos y presentan tamaños de grano que varían en los rango de muy finos a finos (0.08mm – 0.2mm). Están asociados principalmente a los cuarzos; su distribución es heterogénea.

Zircón (0.5%): Corresponde a individuos de relieve muy alto incoloros o levemente coloreados con colores de interferencia bastante fuertes, subidioblásticos y xenoblásticos de tamaño de grano muy fino que en algunos casos presenta un alto grado de fracturamiento. Están asociados principalmente a cuarzos y muscovitas. Su distribución es heterogénea en la roca.

Minerales Opacos (0.5 - 2%): Corresponden a individuos de color negro y de forma tabular. Son idioblásticos de tamaño muy fino a fino. Se presentan como individuos no orientados dentro de los porfidoblásticos de estaurolita y plagioclasa o como individuos orientados de manera concordante con la foliación principal (S_{n+2}) asociados a la muscovita y al cuarzo. Aunque no son abundantes, su distribución se considera homogénea.

Rutilo (0.5%): Individuos de color pardo rojizo xenoblástico, de tamaño fino, alargados de manera concordante a S_{n+2} . Se encuentran asociados a biotitas y algunos minerales opacos y aunque hacen parte de la matriz de la roca, su distribución es heterogénea.

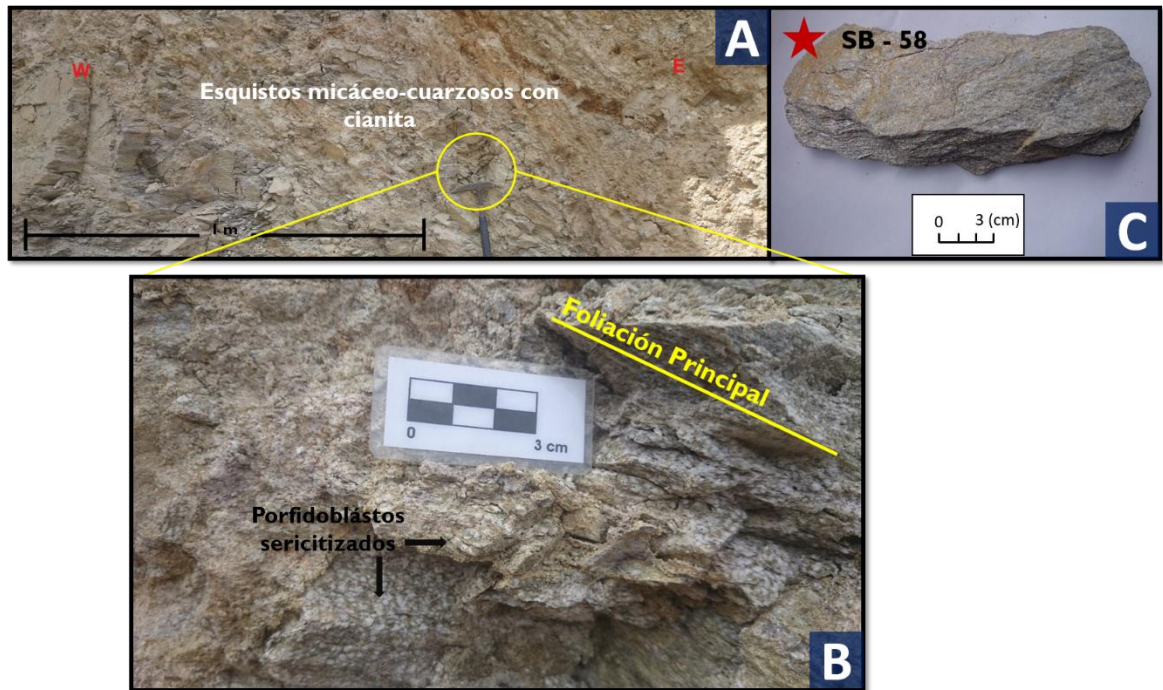
En general tenemos una textura lepidogranoblástica y de manera local se presentan las texturas porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica (asociado a la existencia

de pórfidos de plagioclasa, estaurolita y algunas biotitas), textura poiquiloblástica y esquelética (marcado por pórfidos de plagioclasa y estaurolitas los cuales están fracturadas, alteradas y presentan en su interior cristales de cuarzo y minerales opacos).

7.2.2 Esquistos micáceo-cuarzosos con cianita (Muestras: SB-22, SB-58, SB-88, SB-73 y SB-126): Roca metamórfica de color gris plateado, brillo sedoso, estructura esquistosa y con un grado de alteración media (Ver Figura 16). La foliación varía de continua a espaciada con dominios de clivaje formados principalmente de muscovita y en menor cantidad de biotita levemente cloritizada, son de forma suave-paralela (SB-126) y grosera anastomosada (SB-58). Su composición mineral se caracteriza por un gran porcentaje de cuarzo, muscovita y biotita; en menor cantidad encontramos plagioclasa, cianita, clorita primaria, turmalina, zircón, titanita y minerales opacos. Tanto las cianitas como las plagioclasas se encuentran a manera de pórfidos pre-tectónicos con respecto a la foliación principal de la roca (S_{n+2}). Los cristales de cuarzo de mayor tamaño presentan extinción ondulatoria y en algunas muscovitas y biotitas es posible observarse un microplegamiento tipo “*kink*”.

Cuarzo (60 - 71%): Minerales incoloros de relieve bajo y birrefringencia correspondiente a grises de primer orden. Son idioblásticos, homeoblásticos con tamaños que varían de manera ligera en el rango de los finos (0.2mm – 0.8mm de largo). Se presentan como inclusiones no orientadas dentro de porfidoblastos esqueléticos de cianita y biotita o como agregados ligeramente alargados en la dirección de foliación principal de la roca (S_{n+2}). Está asociado en contacto neto con las muscovitas y biotitas. Esta distribuido en la roca de manera homogénea.

Figura 16. Detalles de los esquistos micáceo-cuarzosos con cianita. A: Afloramiento de esquistos micáceo-cuarzosos con cianita, margen derecho de la Vía Bábega-Silos; **B:** Acercamiento al afloramiento donde se muestra en detalle los porfidoblástos sericitizados de cianita y plagioclasa y la dirección de foliación principal; **C:** Muestra de mano SB-58.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 5 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2014.

Muscovita (11 - 31%): Minerales incoloros de relieve medio y colores de interferencia correspondiente a fucsias, verdes y amarillos de tercer orden con una dirección de exfoliación bien marcada y extinción típica moteada. Son típicamente subidioblásticos y homeoblásticos de tamaño fino (0.4mm de largo). Su orientación marca de manera clara la dirección de foliación principal de la roca (S_{n+2}). Su distribución indica en la mayoría de los casos una foliación de tipo continua, aunque también es común observarse algunas bandas de muscovitas y biotitas que se agrupan hacia los bordes de algunos de los pórfidos, creando así una foliación

espaciada. Algunos de estos individuos cristalinos se encuentran deformados presentando pliegues tipo “*kink*”. Su distribución en la roca se considera homogénea.

Biotita (3 - 10%): Ocurren como individuos de color marrón a incoloros ligeramente pleocroicos con colores de interferencia de tercer orden. Son subidioblásticos de forma tabular y heteroblásticos de tamaño fino-medio cuya disposición es concordante tanto a S_{n+1} como S_{n+2} . Los de mayor tamaño presentan en su interior cristales de cuarzo y minerales opacos no orientados y están asociados a los porfidoblásticos de cianita; los de menor tamaño están asociados en contacto neto con muscovitas formando delgados dominios de clivaje. Su abundancia es variable dentro de las rocas que conforman este litotipo, siendo más abundantes en las muestras SB-22 y SB-58. Su distribución es heterogénea y están alterados de manera moderada-fuerte a clorita.

La clorita se observa reemplazando los minerales de biotita de los bordes al interior y se caracteriza por ser incolora y exhibir colores de interferencia de azules anómalos.

Plagioclasa (1 - 7%): Se observan como agregados minerales incoloros de relieve medio subidioblástico concordantes a S_{n+2} y como individuos porfidoblásticos (SB-73, S-88) xenoblásticos y heteroblásticos de tamaño medio (1.5mm – 2.5mm largo), de formas tabulares con textura esqueletal y poiquiloblástica, conteniendo en su interior cuarzos y minerales opacos ligeramente orientados. Están asociados principalmente a los cuarzos; su distribución en la roca es heterogénea, su alteración dio lugar a la formación de sericita y clinozoisita (SB-88).

La sericita se observa como un agregado incoloro de relieve medio y birrefringencia alta con tamaños ultrafinos que reemplaza de manera total a lo que al parecer eran pórfidos pre-tectónicos de plagioclasa.

Las clinozoisitas se observan incluidas dentro de las masas de sericitas como cristales de relieve alto, subidioblásticos de formas ovaladas y de tamaño fino, con colores de interferencia de gris a amarillo de primer orden (Ver Figura 17F).

Cianita (0.1 - 6%): Se observan como porfidoblásticos de alto relieve, incoloros y con colores de interferencia correspondiente a un amarillo de primer orden. Son subidioblásticos-xenoblásticos y heteroblásticos de tamaño medio (>1mm de largo). Exhiben una textura esqueletal (SB-22, SB-58 y SB-88) conteniendo en su interior minerales opacos y cuarzos no orientados a ligeramente orientados pero no concordantes con la foliación externa de las rocas. Las bandas de micas muestran una fuerte deflexión donde se encuentran dichos porfidoblásticos, por eso, aunque no presentan una orientación definida, se consideran concordantes a S_{n+1} . Su distribución en la roca es heterogénea pero debido a su tamaño, su presencia es bastante evidente. Se encuentran alterados a sericita de manera fuerte en las secciones SB-88, SB-73 y SB-126.

La sericita se observa como un agregado micáceo incoloro de tamaño muy fino que reemplaza de manera total a los cristales de cianita esqueletales.

Minerales Opacos (1 - 3.5%): Individuos de color negro idioblásticos-subidioblásticos de forma tabular y de tamaño fino que se encuentran asociados principalmente a las bandas de micas y en el interior de los pórfidos de cianita y plagioclasa sericitizada, indicando una disposición concordante a las foliaciones S_n y S_{n+2} . Su distribución en la roca es heterogénea.

Clorita (1 - 2%): Individuos de color verde a incoloros, fuertemente pleocroicos con colores de interferencia anómalos correspondientes a grises verdosos que no

exhiben una dirección clara de exfoliación (Ver Figura 17A). Son subidioblásticos, ligeramente homeoblásticos con tamaños entre fino y medio (1mm) que se observan sobreimpuestos a la foliación principal de la roca, siendo por tanto post-tectónicos a S_{n+2} . Dicho mineral no es muy abundante en las rocas de este litotipo y solo se encuentra en la muestra SB-58 y SB-73. Su distribución en la roca es heterogénea.

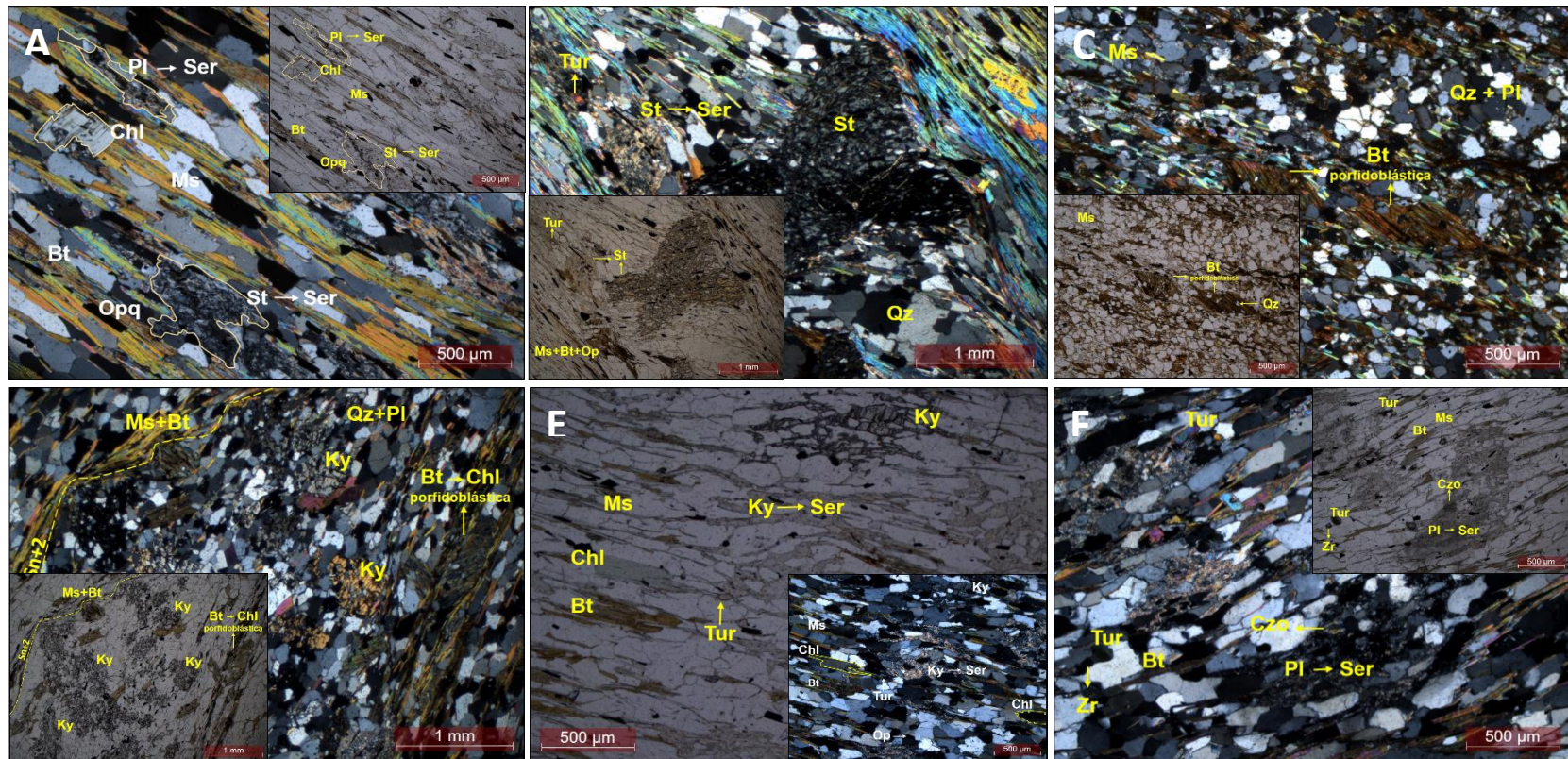
Turmalina (0.1 - 1%): Individuos de color verde oliva con el centro más oscuro que sus bordes y colores de interferencia de segundo a tercer orden. Son idioblásticos de forma prismática corta y tamaño fino. Se asocia en contacto neto con los cuarzos y las bandas de micas. Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

Zircón (0.1 - 0.5%): Individuos incoloros de relieve alto y birrefringencia alta, idioblásticos asociados a los cuarzos con una distribución heterogénea en la roca.

Titanita (0.4%): Cristales de color marrón no pleocroicos, de relieve alto, subidioblástico alargados y orientados de manera concordante a la foliación principal de la roca (S_{n+2}) que se encuentran asociado en contacto neto a cuarzos y en el interior de los cristales de plagioclasa. Su distribución en la roca es heterogénea.

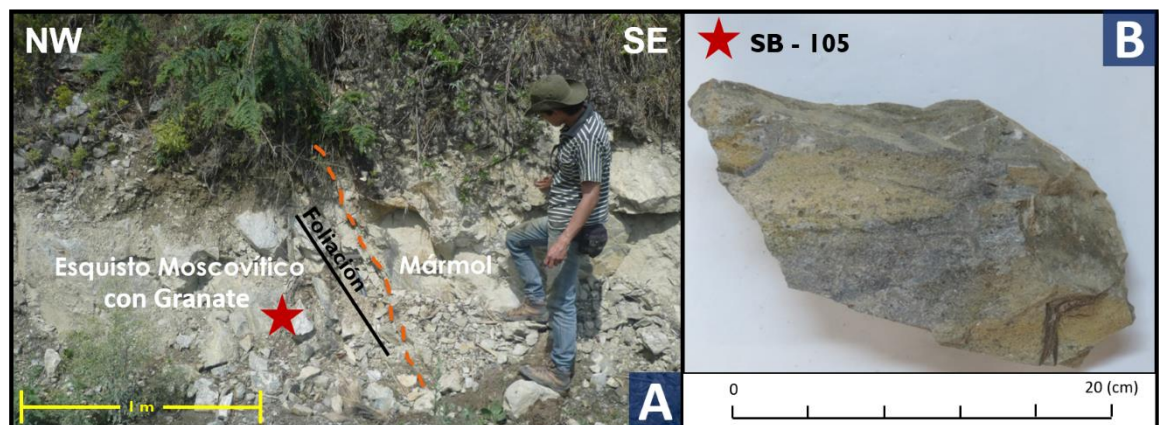
De manera general tenemos la textura lepidogranoblástica. De manera local se desarrollan las texturas granolepidoblástica, granoblástica, porfidoblásticas en matriz lepidogranoblástica, esqueletal y poiquiloblástica.

Figura 17. Microfotografías de los esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita y los esquistos micáceo-cuarzosos con cianita. **A:** Plagioclasa y estaurolita alteradas a sericita y clorita post-tectónica; Muestra SB-30; **B:** Porfidoblasto subidioblástico de estaurolita con macla en cruz, Muestra SB-42; **C:** Biotitas porfidoblásticas, textura lepidogranoblástica, Muestra SB-48; **D:** Porfidoblastos de cianita, textura lepidogranoblástica y esqueletal, Muestra SB-58; **E:** Cianita esqueletal, Cianita alterada a sericita, Muestra SB-88; **F:** Plagioclasa alterada a sericita y clinozoisita, Muestra SB-88. (A-B-C-D-F) Nícoles cruzados, (E) Nícoles paralelos. Recuadros: (A-B-C-D-F) Nícoles paralelos, (E) Nícoles cruzados.



7.2.3 Esquistos micáceo-cuarzosos con granate (Muestras: SB-59, SB-105 y SB-172): Son rocas de tonalidad gris verdoso con estructura esquistosa, son bastante compactas y su composición mineralógica se destaca por un alto contenido de cuarzo sin alcanzar el porcentaje necesario para ser clasificados como cuarcitas (Ver Figura 18). La dirección de foliación S_n está definida por la orientación de las inclusiones minerales en los porfidoblástos de granate, la cual no es concordante con la foliación de la matriz, indicando que dichos porfidoblástos son pre-tectónicos a la foliación principal de las rocas. Se presentan pequeñas venas rellenas de principalmente de cuarzo y en menor cantidad de feldespato, indicando un evento hidrotermal posterior al evento metamórfico principal. En general tenemos dominios de microlitones compuestos principalmente de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, y dominios de clivaje compuestos en su gran mayoría de muscovita y en menor cantidad biotita; los dominios de clivaje se clasifican como de tipo grosero y anastomosado (SB-59).

Figura 18. Detalles de los esquistos micáceo-cuarzosos con granate. A: Afloramiento de esquistos micáceo-cuarzosos con granate donde se muestra la dirección de foliación principal, margen izquierdo de la Vía Silos-Bábega; **B:** Muestra de mano SB-105.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 2 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2015.

Cuarzo (60 - 72%): Individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia correspondiente a grises de primer orden. Ocurren como agregados subidioblásticos más o menos homeoblásticos de tamaño fino (0.4mm de largo) dispuestos de manera concordante a la foliación principal de la roca (S_{n+2}) y asociados a las bandas poliminerálicas de muscovita y biotita. También se presentan al interior de los cristales porfidoblásticos de granate y plagioclasa generalmente orientados como bandas ligeramente plegadas pero no continuas con respecto a la foliación externa, concordantes por tanto a S_n . Se observan junto con minerales opacos y algunas micas formando las sombras de presión de los granates exhibiendo en algunos casos bandas de deformación. Por último, se observan como agregados subidioblásticos de tamaño medio (1.5mm) asociados a feldespatos potásicos, rellenando venas generadas de manera posterior al evento metamórfico principal, y cuya disposición es concordante a la dirección de foliación de la roca (Ver Figuras 19A y 19D); estos muestran extinción ondulante. Su distribución en la roca es homogénea.

Biotita (6 - 26.5%): Cristales color marrón y marrón rojizo altamente pleocroicos con colores de interferencia de tercer y cuarto orden. Se presentan como individuos porfidoblásticos y como agregados en dominios de clivaje. Los primeros son subidioblásticos y comúnmente homeoblásticos de formas tabulares y con tamaños fino-medio (0.5mm de largo), su dirección de exfoliación es oblicua a la foliación principal de la roca y su aparición está asociada a la foliación S_{n+1} , es común observar en su interior algunos cristales de cuarzo no orientados y el desarrollo de un plegamiento tipo “*kink*” (Ver Figura 19B). Los segundos son alargados de tamaño fino (entre 0.25mm – 0.5mm de largo) los cuales están asociados en contacto neto con las muscovitas con las cuales forma dominios de clivaje. Su distribución en la roca es heterogénea y están alterados de manera moderada a fuerte a clorita.

La clorita se desarrolla desde los bordes al interior de los cristales de biotita y se observa de color marrón claro y verde claro con colores de interferencia de azules y grises anómalos.

Muscovita (1.5 - 18%): Agregados incoloros de relieve medio y colores de interferencia correspondientes a azules, fucsias y amarillos de tercer orden. Son subidioblásticos y heteroblásticos con tamaños que varían entre 0.15mm y 0.5mm. Su orientación define la dirección de foliación principal de la roca (S_{n+2}). Se asocia en contacto neto con la biotita en bandas poliminerálicas que definen los dominios de clivaje, también es común encontrarseles en las sombras de presión de los porfidoblásticos de granate. Su distribución en la muestra es más o menos homogénea.

Granate (1 - 8%): Individuos porfidoblásticos pre-tectónicos incoloros de relieve alto, varían de idioblásticos con formas hexagonales (Ver Figura 19E, SB-172) a xenoblásticos (SB-59). Son heteroblásticos con tamaños que varían de fino a medio (0.5mm – 2.5mm). Se presentan fracturados, presentan estructura esquelética, en su interior contienen minerales opacos, grafito y cuarzos cuya orientación está microplegada pero no es concordante con la foliación principal de la roca (Ver Figura 19C). Su distribución en la roca es heterogénea. Se presentan alterados en menor proporción a clorita.

La clorita se observa como una banda mineral de color verde claro a marrón claro que se desarrolla en los bordes de los cristales o al interior de los mismos aprovechando las zonas de fractura.

Plagioclasa (1 - 5%): Se presentan como pórfidos disseminados en las muestras o como agregados granulares en la matriz. Los primeros son xenoblásticos con

textura esquelética y heteroblásticos de tamaño medio (1mm – 3mm de largo); tienen una textura poiquiloblástica debido a que presentan inclusiones de grafito, minerales opacos y cuarzo, y al igual que los granates, son concordantes a S_{n+1} . Los segundos son homeoblásticos de tamaño fino (0.1mm), a veces exhiben el maclado polisintético, presentan una ligera elongación concordante con S_{n+2} y están asociados en contacto neto con el cuarzo haciendo parte de los dominios de microlitones. Se observan fuertemente alterados a sericita.

La sericita se observa como un agregado ligeramente coloreado de tamaño ultrafino que reemplaza de manera total a lo que se consideran eran pórfidos de plagioclasa y de manera moderada a los cristales de la matriz.

Feldespatos Potásicos (3%): Se presentan dos generaciones, una metamórfica y una hidrotermal. La primera corresponde a individuos de relieve bajo con colores de interferencia de grises de primer orden, son subidioblásticos de formas granulares, dispuestos de manera concordante a S_{n+2} y asociada en contacto neto con el cuarzo en la matriz de las rocas. La segunda generación corresponde a individuos subidioblásticos de tamaño fino que junto al cuarzo, rellenan venas que fueron formadas de manera posterior al evento metamórfico principal. Se encuentran alterados de manera moderada a caolín.

El caolín se observa como un agregado micro cristalino incoloro que reemplaza de manera moderada los cristales de feldespato potásico desde su interior a sus bordes.

Minerales Opacos (0.5 - 2.5%): individuos de color negro, subidioblásticos de formas prismáticas alargadas y de tamaño ultrafino-fino, dispuestos de manera concordante a S_n y S_{n+2} , asociados a los agregados de muscovitas y como inclusiones dentro de los pórfidos de granate y plagioclasas.

Grafito (0.4 - 1%): individuos de color negro y subidioblásticos-xenoblásticos de tamaño fino que se encuentran principalmente asociados a las bandas de poliminerálicas de micas, rellenando fracturas de granates o como inclusiones dentro de los pórfidos. Están por tanto orientadas de manera concordante a S_n y S_{n+2} . Su distribución es más o menos homogénea en la sección.

Turmalina (0.2 - 0.5%): Individuos de color verde oliva hacia los bordes y azul grisáceo en el centro; son subidioblástico a idioblástico de tamaño fino. No presentan una orientación definida en las rocas y su distribución es bastante heterogénea dentro de las mismas.

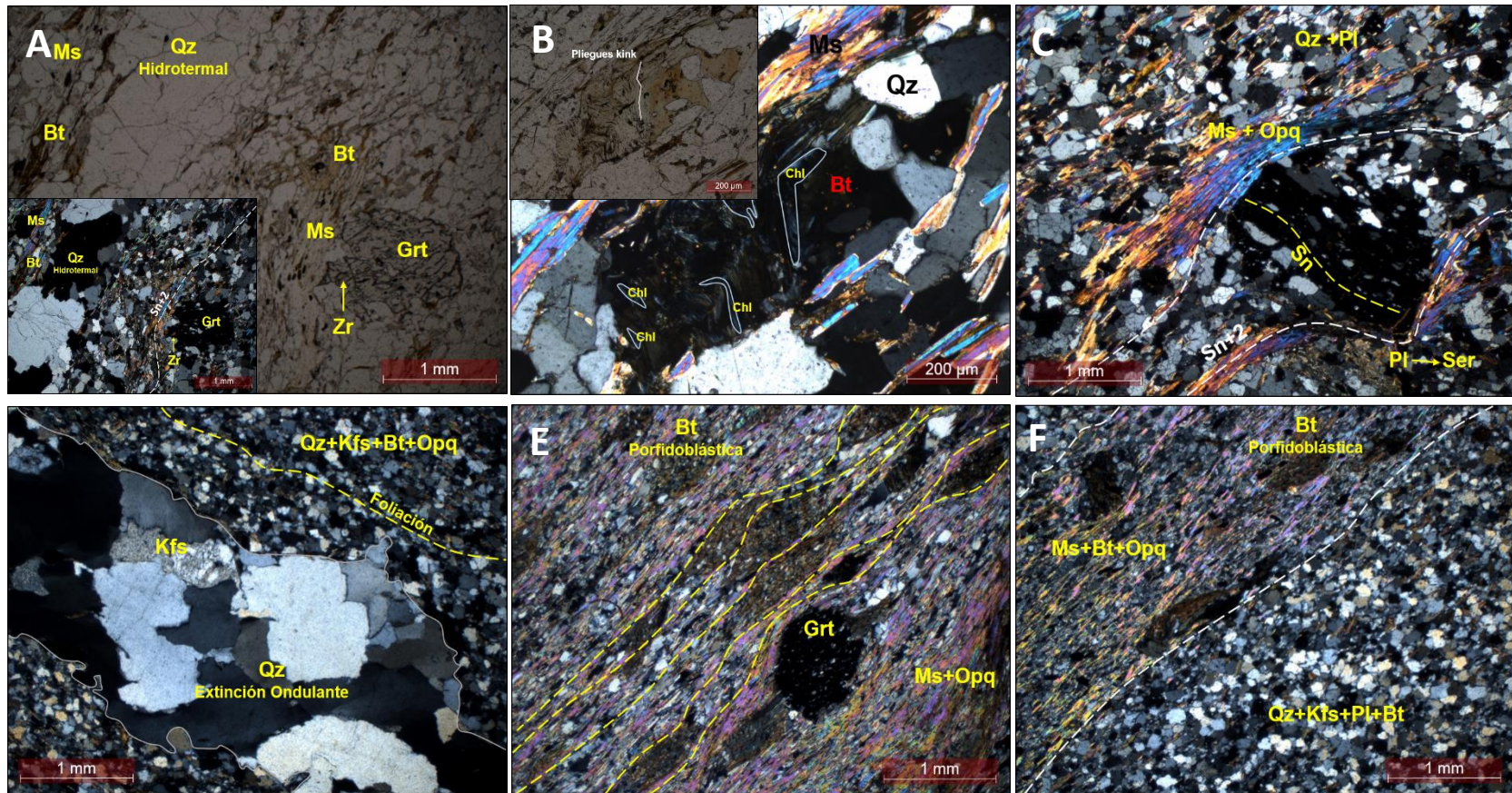
Zircón (0.2 - 0.5%): Individuos incoloros de relieve y birrefringencia alta. Son idioblásticos y están asociados a los cuarzos. Su distribución es heterogénea.

Rutilo (0.1 - 0.5%): Minerales color pardo rojizo, subidioblásticos de formas prismáticas cuadradas cuya disposición no es concordante a ninguna foliación. Está asociado a bordes de porfidoblásticos de granate y se encuentra en contacto neto con muscovitas y cuarzos. Su distribución en la roca es heterogénea.

Titanita (0.5%): Individuos pardos oscuros idioblásticos en forma tabular de tamaño fino (0.25mm de largo) que hace parte del relleno de la fractura, estando así asociado al cuarzo hidrotermal. Su distribución es heterogénea.

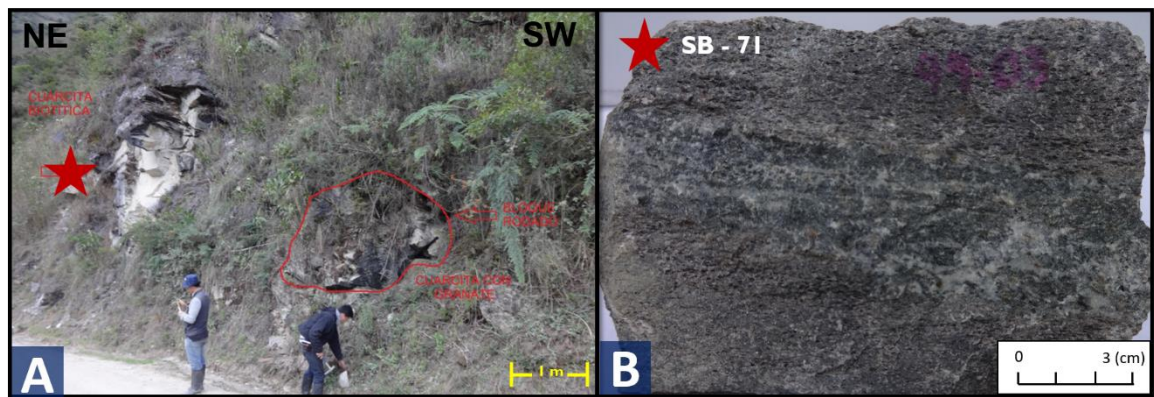
La roca presenta en general una textura lepidogranoblástica y de manera local se desarrollan las texturas: porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica, esqueletal y poiquiloblástica (Ver Figura 19F).

Figura 19. Microfotografías de los esquistos micáceo-cuarzosos con granate. **A:** Granate porfidoblástico y vena de cuarzo, Muestra SB-59; **B:** Biotita porfidoblástica con alteración a clorita, pliegues tipo “kink”, Muestra SB-59; **C:** Granate esqueletal con inclusiones orientadas; Muestra SB-59; **D:** Vena rellena de cuarzo y feldespato potásico, Muestra SB-105; **E:** Textura granolepidoblástica; Muestra SB-172; **F:** Dominio de clivaje y de microlitones en una foliación espaciada, texturas granoblástica; Muestra SB-172. (A-B-C-D-F) Nicoles cruzados, (E) Nicoles paralelos. Recuadros: (A-B-C-D-F) Nicoles paralelos, (E) Nicoles cruzados.



7.2.4 Cuarzita biotítica con granate (Muestras: SB-71): Rocas de color gris claro la cual presenta una oxidación de grado medio y baja meteorización (Ver Figura 20). Presentan una dirección de foliación definida por la orientación de las micas y la elongación de los cristales de cuarzo (S_{n+2}). Presenta cuarzo y biotita como minerales principales; muscovita y granate como minerales menores, minerales opacos, turmalina, zircón y rutilo como minerales accesorios.

Figura 20. Detalles de las cuarcitas biotíticas con granate. **A:** Afloramiento de cuarcitas biotítica con granate en la margen derecha de la Vía Bábega-Silos, a 70m de la quebrada Cherquetá; **B:** Muestra de mano SB-71 donde se alcanzan a ver los porfidoblástos de biotita y granate.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 6 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2014.

Cuarzo (76%): Cristales incoloros de birrefringencia de primer orden que ocurren como inclusiones orientadas dentro de los porfidoblástos de granate y biotita de manera concordante a S_n , como agregados cristalinos idioblásticos y homeoblásticos de tamaño muy fino (0.05mm de largo) concordantes a S_{n+2} y como agregados de cristales muy limpios relleno de venas que se disponen como bandas discontinuas cuya orientación es concordante a la foliación principal de la roca (Ver Figura 24A). Se asocia a los minerales opacos dentro de los porfidoblástos y con

las micas haciendo parte de la matriz cristalina de la roca (Ver Figura 22B). Su distribución en la roca es homogénea.

Biotita (20%): Ocurren como cristales de color pardo rojizo altamente pleocroicos con colores de interferencia de amarillos, verdes y fucsias de cuarto orden. Se presentan como porfidoblástos subidioblásticos de formas tabulares con bordes irregulares, de tamaños fino-medio que varían entre los 0.5mm y 1.5mm de largo, son pre-tectónicos a S_{n+2} , algunas veces presentan inclusiones de cuarzo no orientado (Ver Figura 24B); también ocurren como individuos subidioblásticos alargados y ligeramente homeoblásticos de tamaño fino (0.15mm), estos están asociados al cuarzo y la muscovita de la matriz de manera concordante a S_{n+2} . Así mismo, es común vérselos de forma alargada envolviendo las venas de cuarzo. Su distribución en la muestra se considera como homogénea y están alterados de manera moderada a clorita.

La clorita se observa como un mineral verde claro ligeramente pleocroico y con colores de interferencia de grises y azules anómalos que remplazan la biotita porfidoblástica.

Muscovita (2%): Individuos incoloros de relieve medio y colores de interferencia de azules, fucsias y amarillos de tercer orden. Son subidioblásticos de formas tabulares y homeoblásticos de tamaño fino (0.5mm). Su disposición en la sección es concordante a la foliación general de la roca. Se encuentra asociado al cuarzo y las biotitas. Su distribución en la roca es más o menos homogénea.

Granate (1%): Porfidoblástos incoloros de relieve alto, subidioblásticos con bordes bastante fracturados de manera concordante y perpendicular a la foliación de la roca. Son heteroblásticos con tamaños que varían en los rangos de los finos y

medios (0.6mm – 2mm). Presentan en su interior cristales de cuarzo y minerales opacos cuya orientación no es concordante a la de la foliación de la matriz de la roca. Su distribución en la roca es más o menos heterogénea y presenta una leve alteración a clorita.

La clorita se observa como una franja de mineral pleocroica de color verde claro y colores de interferencia de azules anómalos que se desarrolla a expensas del granate aprovechando las zonas de fractura.

Minerales Opacos (0.5%): Individuos color negro, subidioblástico y homeoblásticos de tamaño fino (0.15mm). Se encuentran como inclusiones dentro de los porfidobláastos de granate y en la matriz de la roca dispuestos de manera concordante a la foliación principal de la misma. Está asociada al cuarzo y la biotita de la matriz. Su distribución en la roca es más o menos homogénea.

Turmalina (0.2%): Individuos pleocroicos de color verde, subidioblásticos de formas prismáticas cortas. No presentan una orientación específica dentro de la sección y están distribuidos de manera heterogénea en la roca.

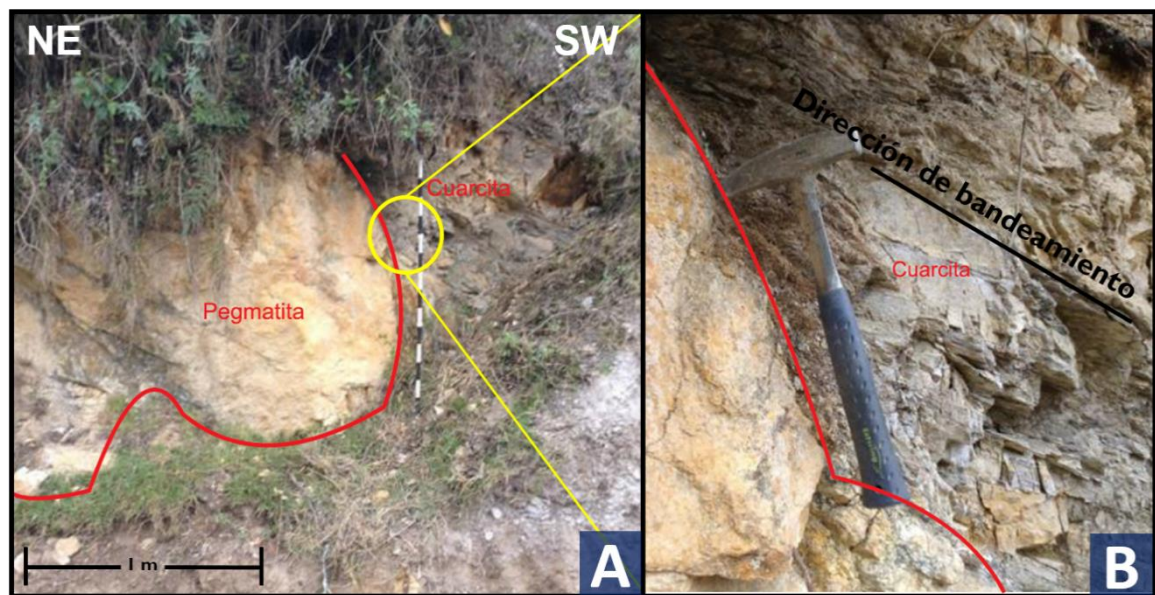
Zircón (0.2%): Minerales incoloros de relieve alto y colores de interferencia azules y fucsias de alto orden, son subidioblásticos y de tamaño muy fino, no presentan una orientación específica y están asociados en contacto neto con el cuarzo de la matriz. Su distribución en la roca es heterogénea.

Rutilo (0.1%): Minerales color pardo rojizo xenoblásticos de tamaño muy fino, sin una orientación específica dentro de la roca y una distribución heterogénea en la misma.

La roca presenta textura general de tipo lepidogranoblástica. De manera local tenemos la textura porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica y poiquiloblástica.

7.2.5 Cuarcita con estaurolita y granate (Muestras: SB-32): La cuarcita exhibe tonalidades grises verduscas, negras y pardas; es de alta compactación y presentan estructura bandeada (Ver Figura 21). Es heteroblástica con tamaño de cristales de fino a medio. Mineralógicamente está compuesta de cuarzo, muscovita, biotita y en menor cantidad granate, estaurolita, rutilo, minerales opacos y turmalina.

Figura 21. Detalles de las cuarcitas con estaurolita y granate. A: Afloramiento de cuarcitas intruidas por una pegmatita en el margen derecho de la vía Silos-La Aguadina; **B:** Dirección del bandeamiento de las cuarcitas.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 4 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2014.

Cuarzo (76%): Se presentan como agregados minerales incoloros de relieve bajo y birrefringencia baja con colores de interferencia de primer orden, son

predominantemente subidioblásticos con formas granulares, heteroblásticos con tamaños que varían en los rangos de fino a medio (0.25mm – 1 mm), presentan extinción ondulosa y reducción del tamaño de cristal, no presentan una orientación bien definida, está relacionado en contacto neto con muscovitas. También se encuentran al interior de porfidoblastos de granates y estaurolitas esqueléticas sin una orientación definida. Se presenta en la roca de manera homogénea y abundante.

Biotita (10%): Individuos de color marrón bastante débil con pleocroísmo típico y colores de interferencia del tercer orden muy similares a los exhibidos por las muscovitas. Son subidioblásticos con forma tabular y heteroblásticos con tamaños principalmente finos. Están levemente orientados de manera concordante a la foliación definida por la orientación de las muscovitas. Está asociado en contacto neto con los cuarzos. Su distribución en la roca es heterogénea. Están alterados de manera moderada a fuerte a clorita.

La clorita se observa como minerales levemente coloreados o incoloros de relieve bajo con colores de interferencia correspondiente a grises y colores anómalos que se desarrollan de manera progresiva de los bordes de la biotita hacia su interior.

Muscovita (6%): Ocurren como individuos incoloros de relieve medio a bajo y colores de interferencia de tercer-cuarto orden. Son subidioblásticos de forma alargada con terminaciones irregulares y heteroblásticos de tamaño predominantemente fino. Presentan una leve orientación definiendo a la dirección de foliación de la roca. Está asociada en contacto con los cuarzos y las biotitas. Aunque no es muy abundante, está distribuida de manera más o menos homogénea dentro de la roca.

Granate (3%): Individuos incoloros de relieve alto, isótopos, xenoblásticos con textura esquelética, de tamaño medio, no presentan una orientación preferencial dentro de la sección, presenta inclusiones de pequeños cristales de cuarzo no orientados (Ver Figura 24C). Su distribución en la roca es heterogénea.

Estaurolita (1%): Cristales incoloros, con colores de interferencia correspondiente a grises y verdes de primer orden, de relieve medio a alto. Son xenoblásticos con bordes bastante irregulares, de textura esquelética de manera similar a los granates y de tamaño medio (Ver Figura 24D). Al igual que la mayoría de los otros minerales, no exhiben una orientación preferencial. Están asociados con los cuarzos y las biotitas en contacto neto. Su distribución es bastante heterogénea en la roca.

Minerales Opacos (1%): Corresponden a individuos de color negro, xenoblásticos con tamaños finos, no presentan una orientación definida, se asocia a los cuarzos y biotitas, en algunos casos presentan oxidación hacia los bordes.

Rutilo (1%): Individuos de color pardo oscuro los cuales están orientados en la misma dirección de la exfoliación de las micas con las cuales están asociados.

Turmalina (0.5%): Individuos de color verde oliva, ligeramente pleocroicos, con colores de interferencia de segundo y tercer orden. Son subidioblásticos con formas prismáticas y heteroblásticos de tamaño fino. Se asocian en contacto neto con los cuarzos y muscovitas. Aunque no son muy abundantes, su distribución es más o menos homogénea en la sección.

Zircón (0.5%): Minerales incoloros a levemente coloreados de relieve muy alto y colores de interferencia correspondientes a verdes y fucsias de cuarto orden. Son idioblásticos de formas prismáticas. No presentan una orientación definida y se asocian en contacto neto con cuarzo.

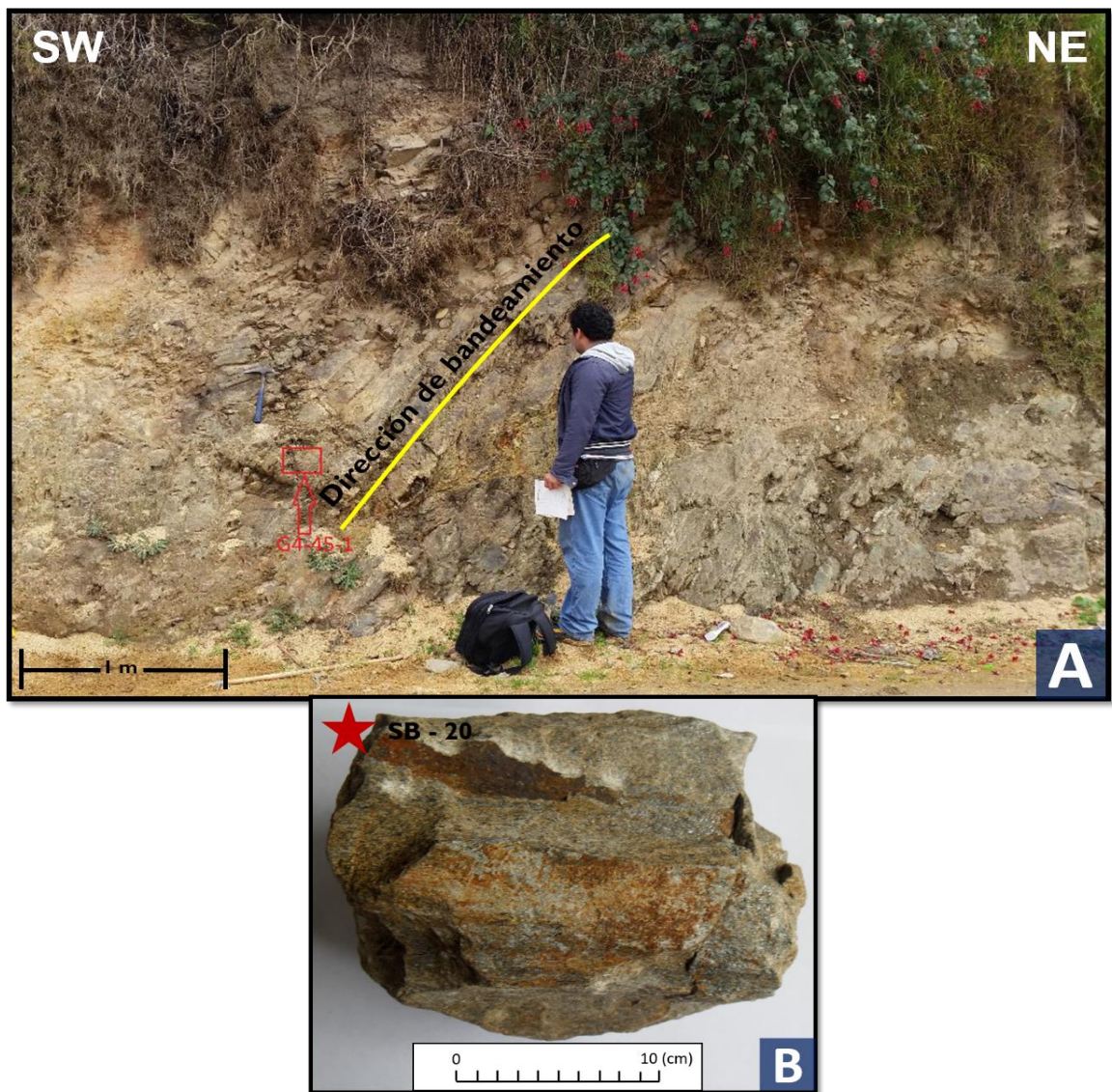
En general, tenemos la textura lepidogranoblástica, localmente se destacan la textura poiquiloblástica y esquelética debido a la forma de los granates y estaurolitas con las inclusiones minerales en su interior.

7.2.6 Cuarcitas muscovíticas (Muestras: SB-12, SB-13, SB-20 y SB-131): Rocas de color gris-verdoso claro, de brillo sedoso, con tamaño de grano fino, bandeada y cortada por venas de cuarzo y plagioclasa (Ver Figura 22). Su composición mineral corresponde a cuarzo, muscovita y plagioclasa como minerales principales; biotita, grafito y turmalina como minerales menores; zircón y minerales opacos como minerales accesorios. A nivel microscópico encontramos una foliación espaciada con dominios de clivaje compuestos principalmente de muscovita, de forma suave y relación paralela-anastomosada.

Cuarzo (76 - 79%): Individuos incoloros de relieve bajo y con colores de interferencia de grises de primer orden. Ocurren en dos generaciones, la primera de tipo metamórfica y la segunda de tipo hidrotermal. Los cuarzoes metamórficos son subidioblásticos y más o menos homeoblásticos de tamaños muy finos (0.05mm) los cuales están elongados en dirección a la foliación principal de la roca (S_{n+2}) y están asociados en contacto neto con muscovita, biotita y grafito. Los cuarzoes de origen hidrotermal se presentan en agregados subidioblásticos y heteroblásticos con tamaños de cristal que varían en el rango de los finos (0.25mm – 0.5mm), presentan una marcada extinción ondulante, se disponen junto a plagioclasas en

bandas rellenas de venas con una orientación oblicua a la foliación de la roca. Su distribución es homogénea (Ver Figura 24E).

Figura 22. Detalles de las cuarcitas muscovíticas. **A:** Afloramiento de cuarcitas muscovíticas bandeadas, margen izquierdo de la vía Bábega- Los Rincón.; **B:** Muestra de mano SB-20.



Fuente: Galería fotográfica de los grupos 4 del periodo 2015-1 y 1 del 2014-1 de Campo II, Escuela de Geología.

Muscovita (11 - 17.3%): Se observan como individuos incoloros de relieve medio y colores de interferencia correspondientes a fucsias o amarillos de tercer orden. Son subidioblásticos de forma típica alargada y heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los finos. Están dispuestas de manera alargada indicando la foliación principal de la roca (S_{n+2}) y constituyendo dominios de clivaje los cuales se observan como bandas delgadas en algunos casos no muy continuos. Está asociado en contacto neto con el cuarzo metamórfico, el grafito y la turmalina. Su distribución es más o menos homogénea.

Plagioclasa (4%): Cristales incoloros de relieve bajo y con colores de interferencia de grises de primer orden. Se presentan como cristales de origen metamórfico y como cristales de origen hidrotermal. Los primeros son subidioblásticos y heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los muy finos (hasta 0.1mm de largo); presentan el típico maclado polisintético y maclado mecánico, en algunos casos estos cristales presentan alto grado de fracturamiento; están orientados de manera concordante a la foliación principal de la roca (S_{n+2}) y están asociados el cuarzo metamórfico, muscovita y biotita. Los segundos son idioblásticos de formas tabulares, a su vez son más o menos homeoblásticos con tamaños finos (0.2mm); presentan de manera muy marcada el maclado de tipo mecánico el cual interrumpe las franjas de crecimiento exhibidas por el maclado polisintético; no presentan una orientación preferencial y está asociada en contacto neto con el cuarzo hidrotermal, haciendo parte de las bandas discontinuas que cortan de manera oblicua la foliación de la roca. Su distribución en la muestra es heterogénea.

Biotita (4 - 9%): Individuos de color marrón a verde claro ligeramente pleocroicos y con colores de interferencia correspondientes a amarillos de tercer orden. Son subidioblásticos con terminaciones irregulares y de tamaños finos. Están orientados de manera concordante con la foliación principal de la roca y están asociados en

contacto neto con el cuarzo metamórfico y la muscovita. Su distribución en la roca es heterogénea. Presentan una alteración moderada a clorita.

La clorita se observa de color verde claro que reemplaza de manera moderada a las biotitas, dándoles así un color de interferencia de azul anómalo.

Grafito (1 - 3%): Agregados negros de lustre metálico, xenoblásticas y heteroblásticos de tamaños muy finos a finos. Presentan una orientación concordante con la foliación principal de la roca. Están asociados en contacto neto con la muscovita y el cuarzo metamórfico.

Minerales Opacos (0.5 - 2.5%): Individuos negros de tamaño muy fino que se encuentran orientados de manera concordante con la foliación principal de la roca y que están asociados principalmente con las bandas de muscovita. Su distribución en la roca es heterogénea.

Turmalina (0.5 - 1%): Individuos pleocroicos de color verde oliva y birrefringencia correspondiente a verdes y rosas de cuarto orden. Son idioblásticos-subidioblásticos con formas poligonales y de tamaños muy finos. Su distribución es heterogénea.

Zircón (0.2 - 1%): Individuos incoloros de relieve muy alto y colores de interferencia correspondiente a verdes y fucsias de alto orden. Son idioblásticos con tamaños que varían entre 0.06mm y 0.12mm. No exhiben una orientación preferencial y están asociados al cuarzo metamórfico. Su distribución en las rocas es bastante heterogénea.

De manera general, estas rocas presentan textura de tipo lepidogranoblástica.

7.3 ROCAS META-CUARZOFELDESPATICAS

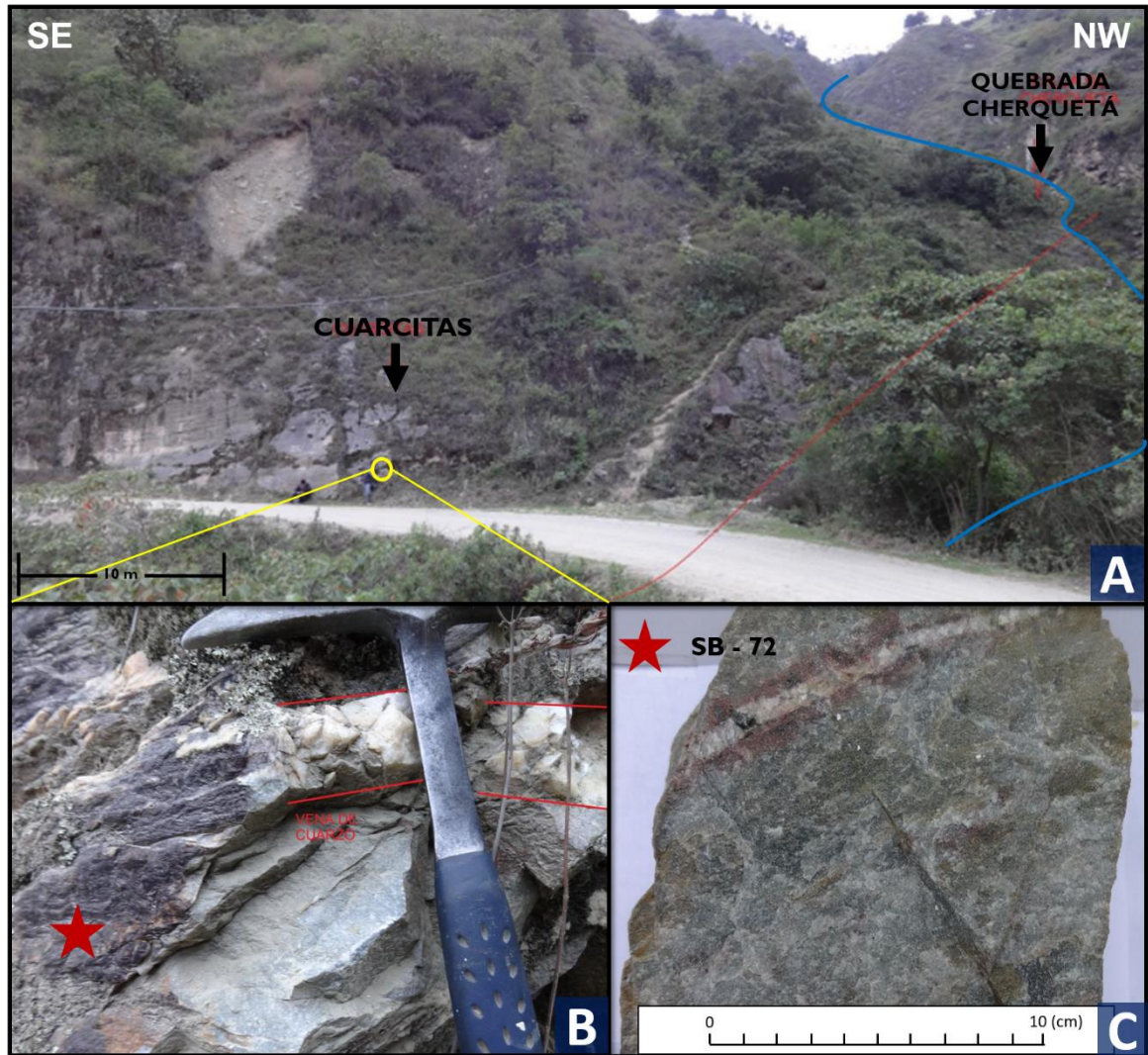
En el grupo de las rocas meta-cuarzofeldespaticas, definida por Robertson (1999)⁷⁷ como aquellas litologías con más del 80% de cuarzo, tenemos las cuarcitas las cuales se describe a continuación.

7.3.1 Cuarcitas (Muestras: SB-11 y SB-72): Rocas de tonalidad verde grisáceo que se presentan con estructura bandeada y masiva, altamente compactas; mineralógicamente están compuestas de manera principal de cuarzo y muscovita, en menor cantidad se encuentra la biotita, el zircón y los óxidos. La muestra SB-72 se caracteriza por ser una cuarcita mucho más pura a comparación de la SB-11 en la cual la cantidad de micas es más alta alcanzando a evidenciar una foliación espaciada con dominios de clivaje y microlitones.

Cuarzo (85 - 89%): Ocurren como minerales incoloros de relieve bajo y colores de interferencia correspondientes a grises de primer orden. Son subidioblásticos y más o menos homeoblásticos con tamaños que varían entre el límite de grano fino y medio (0.5mm – 1mm), presentan extinción ondulante y bandas de deformación. Se presentan elongados marcando la dirección de foliación de la roca. Está asociado en contacto neto con muscovitas y biotitas fuertemente alteradas a clorita. Su distribución en la roca es bastante homogénea.

⁷⁷ ROBERTSON, S., op. cit, p.27

Figura 23. Detalles de las cuarcitas muscovíticas. A: Afloramiento de cuarcitas, margen derecho de la vía Bábega - Silos; **B:** Bandeamiento de la roca; **C:** Muestra de mano SB-72.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 6 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2014.

Muscovita (5 - 9%): Minerales incoloros de relieve bajo a medio con una dirección de foliación bien definida; presenta colores de interferencia correspondientes a amarillos, azules y fucsias de tercer orden. Son subidioblásticos de forma tabular alargada y homeoblásticos de tamaño fino (0.25mm – 0.75mm). Aunque no todos

los individuos presentan una orientación definida, algunos de ellos parecen marcar la dirección de foliación en la roca. Están asociados en contacto neto con el cuarzo. Su distribución en la roca es heterogénea ya que es posible observarse una mayor cantidad de individuos en un sector y una menor cantidad en otro.

Plagioclasa (1.5 - 3%): Individuos incoloros, xenoblásticos y heteroblásticos con tamaños que varían entre fino y medio. No presentan una orientación definida dentro de la roca y están asociados en contacto neto con el cuarzo. Su distribución en la roca es bastante heterogénea y están fuertemente alterados a sericita por lo cual exhiben colores de interferencia de amarillos.

La sericita se observa como un agregado ligeramente coloreado de tamaño ultrafino que remplazan de manera total los minerales de plagioclasa.

Biotita (1.5 - 3%): Individuos de color verde claro fuertemente pleocroicos y que exhiben colores de interferencia de tercer orden y verdes grisáceos. Son subidioblásticos exhibiendo formas tabulares cortas y a veces muy alargadas; son por tanto heteroblásticos con tamaños que varían entre finos y medios (0.25mm – 1mm). Están asociados principalmente en contacto con el cuarzo y la plagioclasa alterada. Están ligeramente orientados de manera concordante con la disposición de las muscovitas, aprovechando espacios entre cristales de cuarzo. Su distribución en la roca es más o menos heterogénea y está fuertemente alterada a clorita.

La clorita se observa como un mineral verde claro con una débil a ausente foliación que remplaza de manera total a las biotitas haciéndolas exhibir un color gris verdoso anómalo.

Zircón (1%): Minerales incoloros de relieve muy alto y colores de interferencia correspondientes a fucsias y amarillos de cuarto orden. Varían de subidioblásticos

a idioblásticos con tamaños de fino a ultrafino, estando los más grandes ligeramente fracturados. No presentan una orientación definida y están embebidos dentro de los cristales de cuarzo. Su distribución en las rocas es bastante heterogénea.

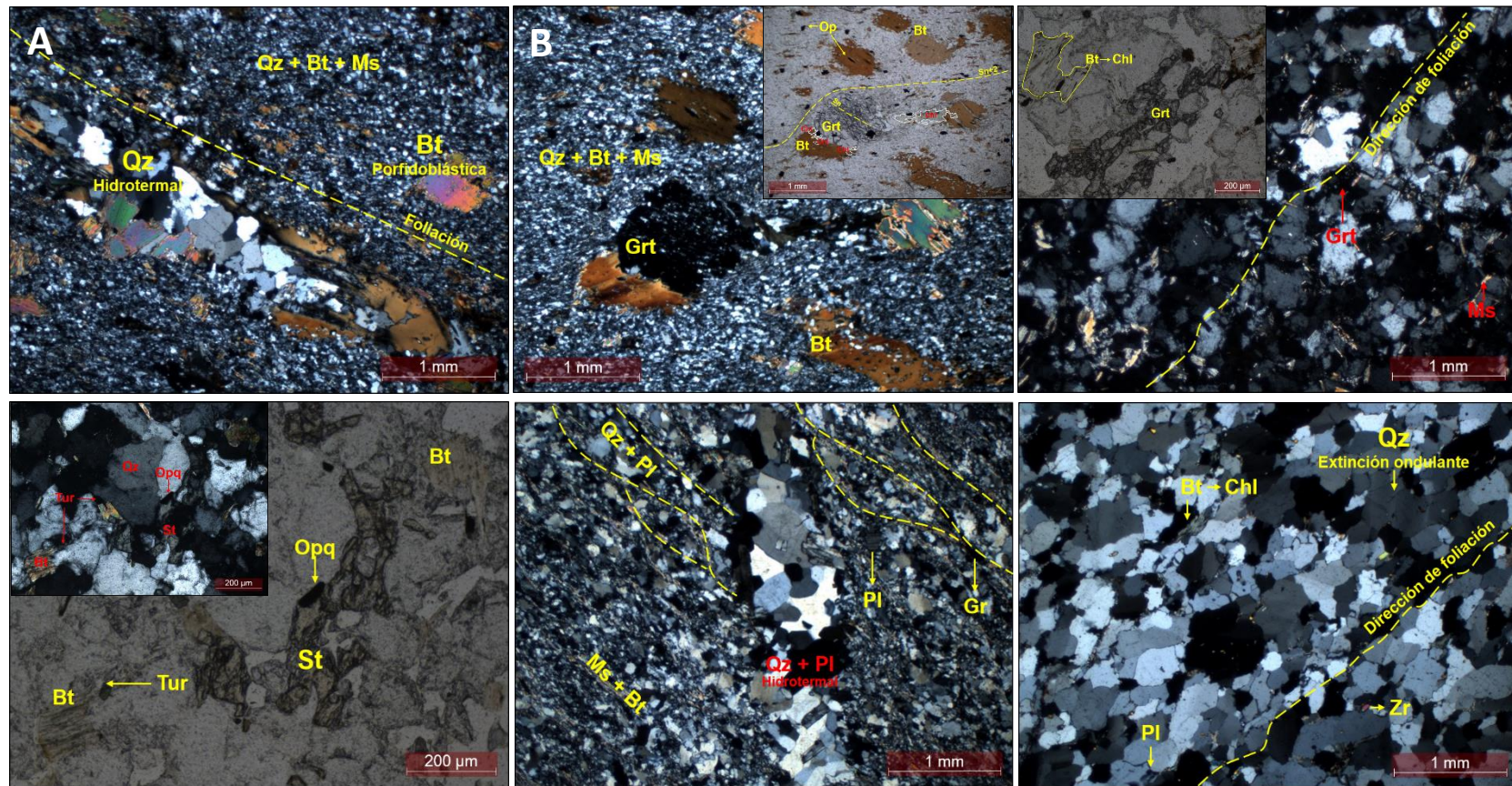
Minerales Opacos (1%): Minerales de color negro de forma subidioblástico tabular a xenoblásticas, están alargados o dispuestos de manera concordante con la foliación principal exhibida por la roca. Están relacionados principalmente con las bandas de muscovita aunque también es común vérselo asociado a los cuarzos. Su distribución en las rocas es heterogénea.

Turmalina (0.5%): Individuos aislados de relieve medio y color verde oliva levemente pleocroico más claro hacia sus bordes y más oscuro en su centro, el cual presenta birrefringencia media. Son idioblásticos de forma prismática alargada y homeoblásticos de tamaño fino (0.3mm), están orientados de manera concordante a la foliación principal de la roca y asociado en contacto neto con cuarzo y muscovitas. Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

Rutilo (0.5%): Minerales de color pardo rojizo, subidioblásticos de formas tabulares y tamaños ultrafinos. No presentan una orientación definida y se hallan estrechamente relacionados a las biotitas y a las plagioclasas. Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

La roca presenta predominantemente una textura de tipo granoblástica que varía a lepidogranoblástica cuando aumenta la cantidad de muscovitas en la misma (Ver Figura 24F, SB-11).

Figura 24. Microfotografías de las cuarcitas biotíticas con granate, cuarcitas con estaurólita y granate, cuarcitas muscovíticas y cuarcitas. **A:** Cuarzo hidrotermal y biotita porfidoblástica, Muestra SB-71; **B:** Biotita y granate porfidoblástico con alteración a clorita, dirección de foliación principal, textura porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica, Muestra SB-71; **C:** Granate esqueletal, Muestra SB-32; **D:** Estaurólita esqueletal, Muestra SB-32; **E:** Textura lepidogranoblástica, cuarzo y plagioclasa hidrotermal, Muestra SB-131; **F:** Textura granoblástica, Muestra SB-72. (A-B-C-D-F) Nícoles cruzados, (E) Nícoles paralelos. Recuadros: (A-B-C-D-F) Nícoles paralelos, (E) Nícoles cruzados.



7.4 ROCAS META-CARBONATADAS

7.4.1 Mármoles puros (Muestras SB-54 y SB-151): Roca de tonalidad gris con brillo vítreo, de tamaño de cristal medio a grueso, compuesto principalmente de calcita. Presentan estructura masiva y bandeada, el bandeamiento está definido por variación composicional (aumento de minerales opacos dispuestos en bandas) y por la orientación preferencial de los bordes de grano (Ver Figura 25). A nivel microscopio se observa una foliación débil la cual está definida por la elongación de los cristales de calcita.

Calcita (95 - 96%): Se presentan como agregados minerales incoloros de relieve medio con birrefringencia de con colores de interferencia correspondiente a grises de primer orden e irisaciones de orden mayor en dirección concordante a uno de los planos de exfoliación. Son heteroblásticos con tamaños de cristales que varían entre fino y medio (0.25mm – 2.5mm). Presenta el maclado típico polisintético. Presentan maclado mecánico, extinción ondulante y bandas de deformación (Ver Figura 29A). Algunos individuos tienen inclusiones de cristales de cuarzo y óxidos. Los cristales de calcita están elongados marcando una dirección de foliación definida en la roca. Su distribución en la roca es homogénea.

Cuarzo (3.4 - 3.8%): Individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden, son subidioblásticos de formas granulares y heteroblásticos con tamaños de cristales que varían en el rango de los finos (0.25mm – 0.65mm). Están orientados de manera concordante a la foliación de la roca. Se presentan entre bordes de cristales de calcita o al interior de estos. Su distribución en la roca es heterogénea.

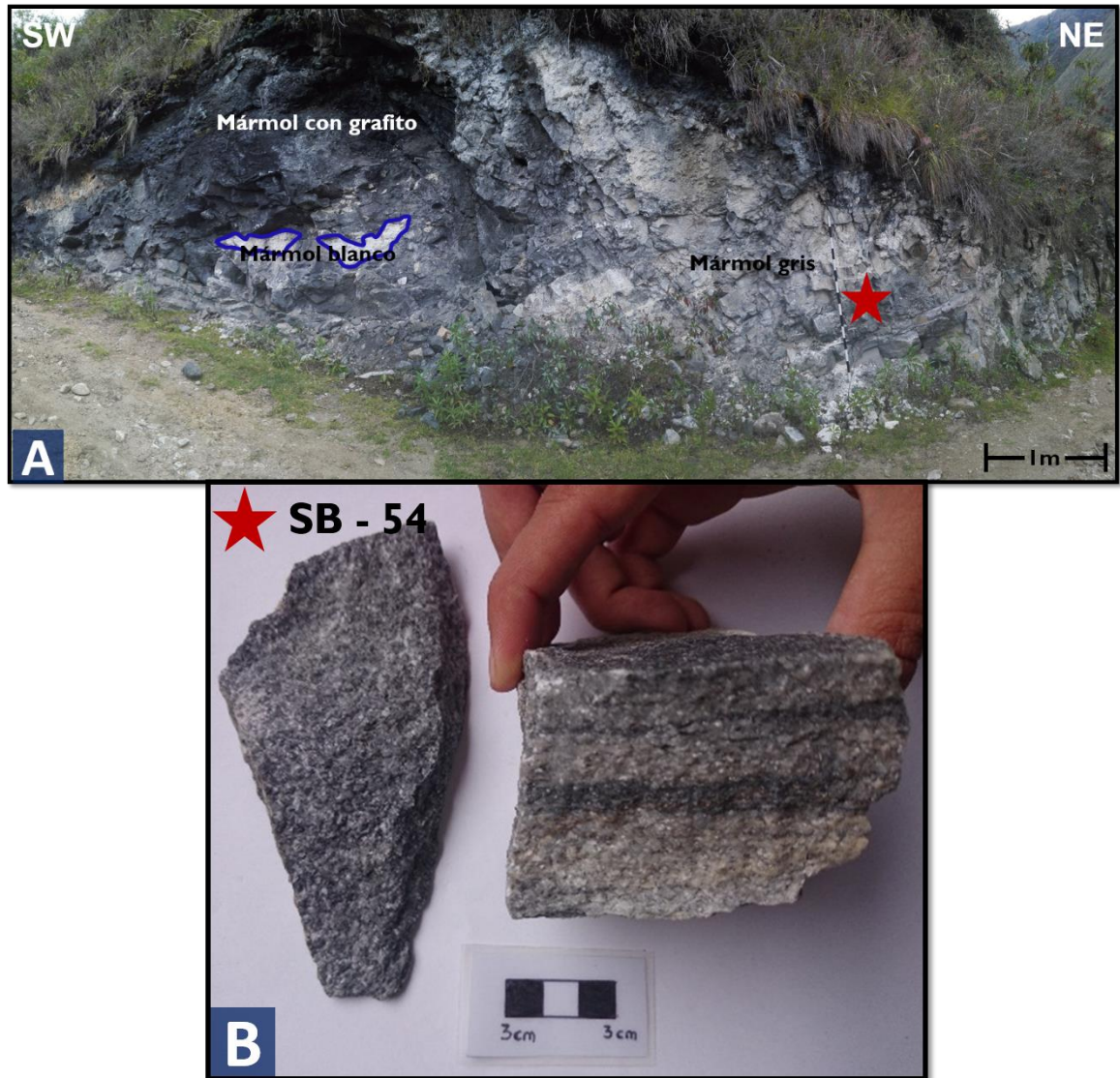
Minerales Opacos (1%): Individuos de color negro, subidioblásticos y xenoblásticos de tamaño ultrafino que ocasionalmente se encuentran como agregados dispuestos entre los bordes de los grandes cristales de calcita y ocasionalmente en el interior de ellos en forma de microestilolitos, dispuestos de manera concordante con la foliación principal de la roca. Su distribución es heterogénea en la sección.

Diópsido (0.5%): Individuos incoloros de relieve medio y colores de interferencia correspondientes a amarillos y morados de tercer orden. Son subidioblásticos exhibiendo formas ligeramente ovaladas y más o menos homeoblásticos de tamaño fino (0.3mm). Se presentan ligeramente orientados en dirección concordante a Sn y están asociados en contacto neto a calcita. Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

Titanita (0.1 - 0.2%): Minerales de color pardo rojizo, xenoblásticos y heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los finos (0.1mm – 0.5mm), no presentan una orientación definida y se observan incluidos dentro de cristales de calcita. Su distribución en la roca es heterogénea.

La textura general de este tipo de rocas es granoblástica.

Figura 25. Detalles macroscópicos de los mármoles puros. **A:** Afloramiento mármoles grises con grafito y mármoles puros, Sector Caraba Pequeño. **B:** Muestra de mano SB-54.



Fuente figura B: Galería fotográfica del grupo 5 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del año 2014.

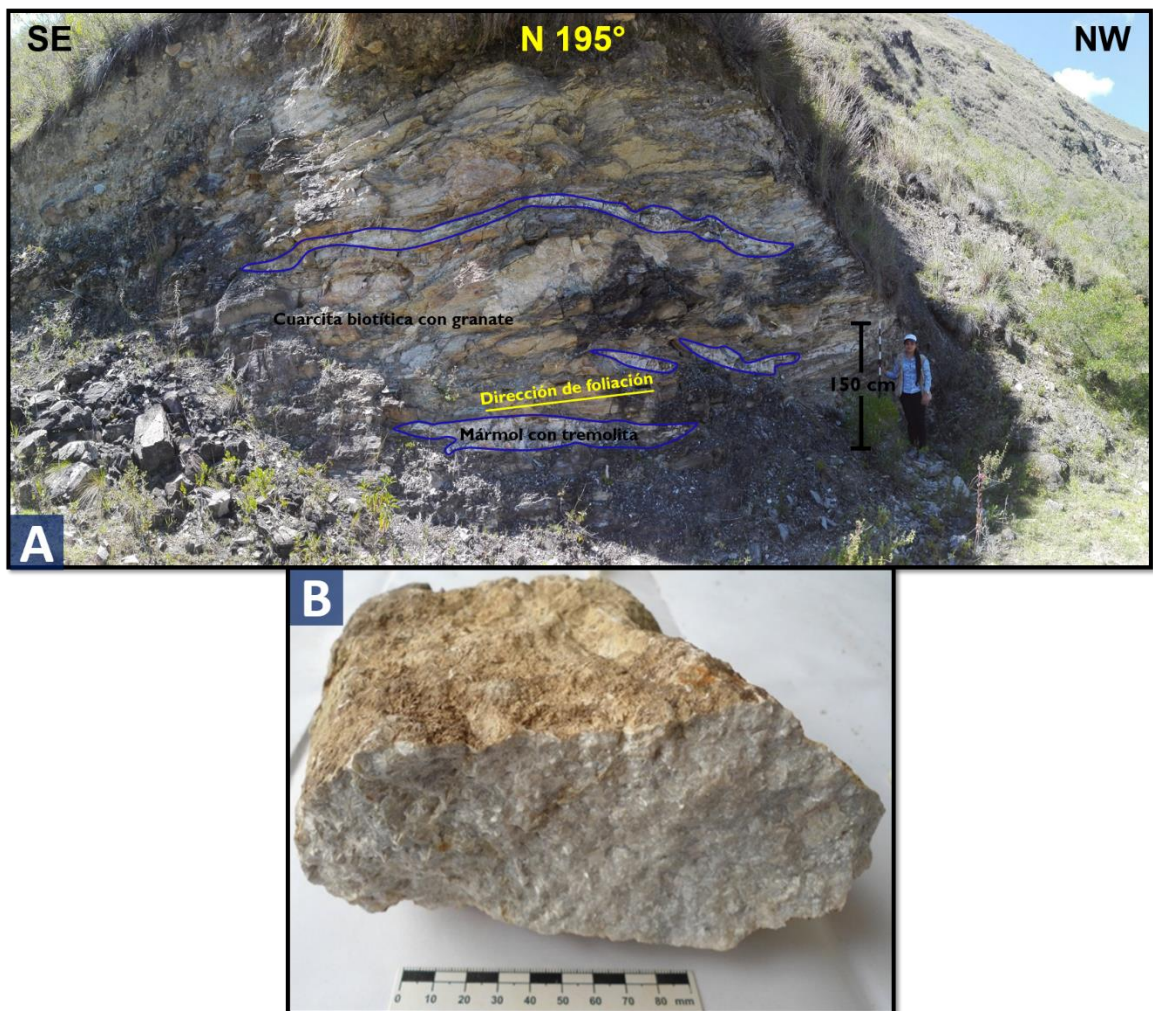
7.4.2 Mármoles impuros (Muestras: SB-3, SB-8, SB-9, SB-56, SB-68, SB-147, SB-148, SB-149, SB-150 y SB-159): Rocas con tonalidades blanca-gris-verde, de tamaño de cristales medio, grueso a muy grueso, bien compactas que se presentan ligeramente oxidadas (Ver Figura 24). Varían de granofelsas (SB-9, SB-56) a rocas con bandeamiento por orientación preferencial de los bordes de cristales (SB-68, SB-147, SB-159). Están compuestas principalmente por calcita, cuarzo, plagioclasa, biotita, diópsido, epidotas y tremolita-actinolita como minerales principales y en menor cantidad por muscovita, titanita, zircón y grafito.

Calcita (52 - 92%): Ocurren como agregados minerales incoloros de relieve bajo a medio, con una birrefringencia correspondiente a grises de primer orden y verdes a rosas de muy alto orden, son xenoblástico exhibiendo bordes bastante irregulares y heteroblásticos con tamaños de cristal que varían principalmente en el rango de finos a medios (0.1mm – 2mm). Presenta el típico maclado polisintético y exfoliación romboédrica, muestran maclas ligeramente deformadas (Ver Figura 29B). Dichos minerales en algunos casos se observan alargados, marcando la foliación principal de la roca. Por último, se observan como cristales producto de un evento hidrotermal, rellenando venas que se disponen de manera concordante a casi perpendicular a la foliación de estas rocas. Están asociados en contacto neto con agregados de cuarzo. Se presentan de manera abundante y homogénea en la roca.

Cuarzo (2 - 45%): Se presenta como individuos y en forma de agregados aislados e incoloros de relieve bajo, con colores de interferencia correspondiente a grises de primer orden; son subidioblásticos y heteroblásticos con tamaños finos entre 0.1mm y 0.6mm. Es común observarse en dichos agregados, cristales de cuarzo fracturados y algunos otros con extinción ondulosa. Se observan de manera alargada y concordante a la disposición de elongación de las calcitas siguiendo la dirección de foliación principal de la roca. De manera adicional al igual que las

calcitas, se encuentran como componente menor que rellenan venas. Se asocian en contacto neto con los cristales de calcita. Su distribución en la roca es más o menos homogénea.

Figura 24. Detalles macroscópicos de los mármoles impuros. A: Afloramiento de cuarcitas biotíticas con lentes de mármoles con tremolita-actinolita en la Vía Silos – Olaya Herrera. **B:** Muestra de mano SB-159.



Tremolita - Actinolita (0.5 - 13.5%): Individuos incoloros de relieve alto y birrefringencia alta con colores de interferencia de azul, verde y naranja de segundo orden. Ocurren como individuos prismáticos largos (SB-9) y como agregados fibrosos-radiales (SB-159), son heteroblásticos con tamaños de grano fino (Ver Figura 29C). Se asocian en contacto neto con la calcita. Su distribución en la sección es heterogénea.

Zoisita (12%): Cristales incoloros de relieve alto, con colores de interferencia de grises-amarillos de primer orden, exfoliación observable en una dirección, heteroblásticos, xenoblásticos, distribuidos uniformemente en la muestra. Presenta inclusiones de cuarzo y no se encuentran orientados (Ver Figura 29B).

Biotita (4 - 10%): Ocurren como individuos cristalinos de color marrón claro a verde pálido, son pleocroicos que varían de tonalidades marrones pardas a amarillo claro y de relieve medio. Son subidioblásticos, con tamaños de grano fino que varían entre 0.1mm a 0.5mm, de forma laminar con los cristales alargados y su bordes muy irregulares, orientados en dirección de la foliación exhibida por estas rocas. Está asociado en contacto neto con el cuarzo y la calcita. Su distribución en las rocas es heterogénea. Presenta una alteración de moderada a fuerte a clorita.

La clorita se evidencia por ser de color verde muy pálido a incolora con pleocroísmo débil y colores de interferencia anómalos correspondientes a grises azulosos.

Plagioclasa (7.7%): Individuos incoloros con birrefringencia de primer orden, son subidioblásticos de formas granulares, típicamente maclados, dispuestos de manera concordante a la foliación principal de las rocas bandeadas, están asociados con la calcita y cuarzo, su distribución es heterogénea.

Diópsido (2 - 8%): Minerales incoloros de relieve medio y colores de interferencia de azules, fucsias, morados y amarillos de tercer a cuarto orden. Son subidioblásticos de formas granulares y homeoblásticos de tamaño fino (0.2mm). No están orientados, pero se encuentran asociados en contacto neto con cuarzo y calcita. Su distribución en la roca es heterogénea.

Clinozoisita (4.5%): Cristales incoloros de birrefringencia baja, con colores de interferencia de amarillos del primer orden más fuertes que los exhibidos por la zoisita (Ver Figura 29B), son xenoblásticos y heteroblásticos. Se observan cristales con inclusiones de carbonatos y de epidota. Presentan una exfoliación típica en una dirección. Su distribución en la roca es heterogénea.

Pirita (1 - 3%): Se presentan como individuos de color negro, típicamente idioblásticos con formas cuadradas perfectas y ligeramente homeoblásticos de tamaño fino (0.2mm) que se encuentran asociados principalmente a las venas rellenas de cuarzo y en menor cantidad a los agregados de calcita metamórfica. Su distribución en las rocas es heterogénea y se observan oxidados de forma ligera a fuerte.

Titanita (0.5 - 2.5%): Ocurren como individuos de color marrón rojizo, exhibiendo formas xenoblásticas y relleno estrechas áreas relacionadas a fracturas de la roca o relacionados en contacto con minerales de cuarzo y calcita. Su distribución es heterogénea.

Minerales Opacos (0.5 - 2%): individuos de color negro de formas irregular, en pequeños granos o alargados, estando orientados en sentido de la foliación general.

Epidota (1%): Individuos incoloros de relieve alto, con colores de interferencia altos, son subidioblásticos de forma granular con bordes bastante fracturados y heteroblásticos con tamaños de cristales que varían de fino a medio (0.15mm – 1.5mm). No están orientados en estas rocas, están asociados con calcita y su distribución es heterogénea.

Muscovita (1%): Se observan como individuos incoloros de relieve medio a bajo con una dirección de exfoliación bastante marcada y colores de interferencia correspondiente a verdes y azules de tercer orden. Son subidioblásticos, exhibiendo formas hojosas y son ligeramente homeoblásticos con tamaños correspondiente al rango de minerales ultrafinos. Su disposición en la muestra es bastante aleatoria, por lo cual su dirección de exfoliación no es concordante con la foliación principal. Se encuentra en contacto neto con calcitas y cuarzos. No son muy comunes y su distribución es bastante heterogénea.

Zircón (0.1 - 0.5%): Mineral incoloro de alto relieve y colores de interferencia que varían entre rosas y verdes de muy alto orden. Se observa como cristal idioblástico de tamaño ultrafino relacionado en contacto neto con la calcita. No es muy común observársele y por tanto su distribución es bastante heterogénea en la roca.

Grafito (0.1%): Individuos de color negro y lustre metálico, son subidioblásticos de formas alargadas y de tamaño fino. No presentan una orientación específica y están asociados a las calcitas. No es común en las muestras analizadas y su distribución es heterogénea.

Se tiene la dirección de foliación marcada por la elongación de los cristales de calcita. Se tienen maclas deformadas en las calcitas.

La textura de estas rocas es principalmente granoblástica, pero también se presentan las texturas lepidogranoblástica (en rocas con contenidos de biotita y muscovita) y nematogranoblástica (en rocas con anfíboles).

7.4.3 Rocas calcosilicatadas (Muestra: SB-106): Rocas de tonalidades gris-verdoso, con brillo vítreo y de aspecto masivo, compuesta principalmente de cuarzo, epidota, biotita, hornblenda, diópsido y minerales opacos. Son típicamente granofelsas (Ver Figura 27).

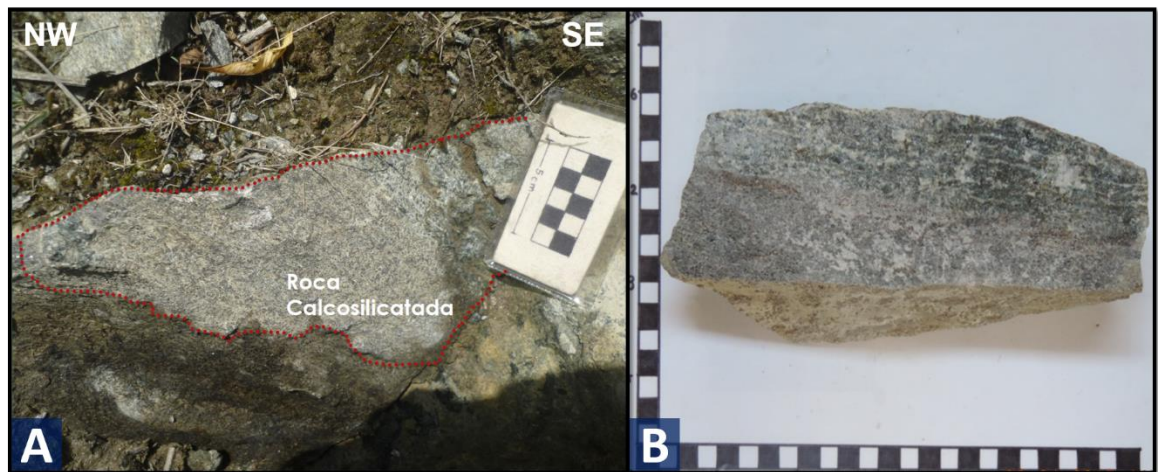
Epidota (35%): Minerales incoloros de relieve medio con colores de interferencia de tercer orden. Son subidioblásticos de formas granulares a alargadas, con tamaños muy finos cuya disposición no indican o muestra una dirección de foliación predominante. Se halla relacionado en contacto neto con los cuarzos y piroxenos (diópsidos) dentro de lo que se puede llamar como la matriz de la roca. Su distribución es heterogénea.

Biotita (22%): Ocurren como cristales pleocroicos color marrón de hábito hojoso, subidioblásticos y homeoblásticos de tamaño fino (0.1mm) y ligeramente orientados entre sí, asociados en contacto neto al cuarzo y la epidota haciendo parte del material fino de la matriz. También se observan como cristales porfidoblásticos de color verde a marrón ligeramente pleocroicos, con bordes bastante irregulares y tamaños entre los 0.5mm y los 0.75mm los cuales presentan en su interior cristales de cuarzo, epidota y algunos minerales opacos (Ver Figura 29F). Su distribución en la roca es heterogénea.

Cuarzo (20%): Se presentan como como minerales incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden, son subidioblásticos y

homeoblásticos de tamaño muy fino. No presentan una orientación preferencial y están asociados en contacto neto con la muscovita y piroxenos formando parte de la matriz.

Figura 27. Detalles macroscópicos de las rocas calcosilicatadas. A: Bloque rodado de rocas calcosilicatadas en la margen izquierda de la Vía Silos – Bábega. **B:** Muestra de mano SB-106.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 5 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del 2015.

Hornblenda (13%): Individuos pleocroicos que van desde una tonalidad verde a un amarillo muy claro con colores de interferencia correspondientes a amarillos de segundo orden. Son xenoblásticos exhibiendo formas más o menos prismáticas largas pero con bordes ausentes, son heteroblásticos con tamaños entre fino y medio (0.75mm – 3.5mm); algunos de los individuos presenta maclado simple y es posible observarse su exfoliación en dos direcciones (56° - 124°). Esta altamente fracturado, contiene en su interior contienen material de la matriz, tales como pequeños cristales de cuarzo, muscovita y minerales opacos. No presentan una orientación preferencial; está asociado a biotitas, calcita y cuarzo. Su distribución en la roca es heterogénea.

Calcita (3%): Mineral incoloro de relieve bajo con irisaciones en los planos de exfoliación. Los colores de interferencia corresponden a verdes y rosas de alto orden. Son subidioblásticos a xenoblásticos con ausencia de bordes rectos, son heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los finos (0.5mm – 1mm). No presentan una orientación definida, está asociada principalmente a hornblenda, cuarzo y diópsidos. Su distribución en la roca es heterogénea.

Diópsido (2.5%): Individuos incoloros a verde muy claro y colores de interferencia correspondientes a morados, azules y amarillos de tercer orden. Son subidioblásticos con formas prismáticas cortas o como cristales redondeados, son ligeramente homeoblásticos con tamaños de cristal en el rango de los finos (0.15mm – 0.5mm). Hace parte en menor cantidad del material de la matriz, asociado con el cuarzo, la biotita y la epidota; también se le observa incluido dentro de los cristales de calcita y granate. Su distribución en la roca es heterogénea.

Minerales Opacos (2%): Individuos de color negro que varían de idioblásticos a xenoblásticos, exhibiendo formas tabulares bien definidas hasta formas bastante irregulares. Son heteroblásticos con tamaños que varían desde los 0.1mm a 1.25mm. Presentan una ligera orientación la cual es concordante a la orientación de las biotitas de menor tamaño. Se encuentra incluido en los cristales más grandes. Su distribución en la roca es ligeramente homogénea.

Cummingtonita (1%): Individuos cristalinos con pleocroísmo que varía de verde grisáceo a amarillo claro, con colores de interferencia correspondientes a verdes y azules de tercer orden. Son de subidioblásticos a xenoblásticos con bordes bien definidos, exhibiendo formas tabulares largas y homeoblásticos de tamaño medio (1mm). En su interior contienen material de la matriz y algunos minerales opacos no

orientados. No presenta una orientación definida y está asociado al cuarzo y epidota principalmente. Su distribución en la sección es heterogénea.

Granate (1%): Individuos incoloros de relieve muy alto, xenoblásticos y ligeramente homeoblásticos con tamaño de cristal medio (1.5mm – 2mm). Presentan en su interior material de la matriz como cuarzo, diópsido y minerales opacos (Ver Figura 29E). No presentan una orientación clara. A su alrededor no se observan de manera clara la formación de sombras de presión. Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

Titanita (0.5%): Minerales de color marrón oscuro y de alto relieve sin una disposición u orientación definida dentro de la matriz de la roca. su distribución es heterogénea.

Esta roca (SB-106) parece estar dividida en dos secciones importantes bastante diferentes entre sí, en la primera se observa una leve foliación definida por la presencia de biotitas ligeramente orientadas con presencia de porfidoblóstos de granate y biotita; en la segunda se observan cristales de mayor tamaño correspondientes a anfíboles (hornblenda, cummigtonita), calcita y biotita los cuales no presentan una orientación definida. Teniendo en cuenta las dos secciones principales en la que se divide la roca, podríamos decir que en la primera sección tenemos una textura de tipo porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica mientras que en la segunda tenemos una textura granonematoblástica.

7.4.4 Rocas silicatadas con carbonatos (Muestras: SB-144 y SB-145): Roca de tonalidades blanca-verde-gris. Presentan un grado de meteorización bajo y están

bien compactada. Presenta estructura cataclástica y milonítica. Son heteroblásticas con cristales de tamaño fino a medio (Ver Figura 28).

Cuarzo (55 - 58%): Ocurren como individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden. Son xenoblásticos y heteroblásticos con tamaños que varían de fino a medio (0.4mm – 1.25mm). Presentan aspecto sucio, se observa extinción ondulante y bordes de subgranos (Ver Figura 29D). Están ligeramente elongados. También se observan como cuarzitos triturados dentro de una matriz cataclástica. Se asocian a las plagioclasas y piroxenos. Su distribución en la roca es heterogénea.

Figura 28. Detalles macroscópicos de las rocas silicatadas con carbonatos. **A:** Afloramiento de rocas calcosilicatadas y silicatadas con carbonatos con foliación tectónica, margen izquierdo de la Vía Silos – Bábea. **B:** Muestra de mano SB-144.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 5 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del 2015.

Plagioclasa (10 - 17.5%): Individuos ligeramente porfidoblásticos incoloros de relieve bajo a medio con colores de interferencia de grises de primer orden. Son subidioblásticos a xenoblásticos con los bordes de cristal ligeramente fracturados.

Son heteroblásticos con tamaños que varían en el rango de los finos a medios (0.5mm – 1.25mm). Presentan maclado polisintético y compuesto (macla de Carlsbad y polisintética), maclado mecánico y “*kinking*”. No se presentan orientados dentro de la sección, se asocian en contacto neto con el cuarzo y el feldespato potásico. Su distribución en la roca es heterogénea. Se observa sericitizado de manera moderada.

La sericita se observa como micas de tamaño muy fino a ultrafino que reemplaza de manera moderada a las plagioclasas desde sus bordes hacia su interior formando parte de la matriz de la roca.

Hornblenda (13%): Individuos alargados de color verde, ligeramente pleocroicos, xenoblásticos de bordes bastante irregulares, están alargados en sentido de la foliación tectónica, en algunos casos muestran un ligero plegamiento. Están asociados en contacto neto con la epidota, los cuarzos y la calcita. Se encuentran distribuidos de manera heterogénea en la roca.

Epidota (7 - 8.8%): Minerales porfidoblásticos de color marrón a verde claro sin pleocroísmo. Son xenoblásticos con bordes bastante fracturados. Son heteroblásticos con tamaños que varían de fino a medio (0.15mm – 2mm). Muestran dos direcciones de exfoliación casi perpendiculares entre sí. Se muestran ligeramente fracturados en dirección de sus direcciones de exfoliación las cuales están rellenas de cristales de cuarzo reducido y minerales opacos. Se asocian a los cuarzos y plagioclasas. Su distribución en la roca es bastante heterogénea.

Biotita (4.5%): Ocurren como individuos cristalinos de formas hojosas, subidioblásticos y heteroblásticos de tamaño muy fino que se asocian al cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. Su distribución en la roca es heterogénea.

Calcita (3.7 - 5%): Mineral incoloro de relieve bajo a medio y colores de interferencia pasteles de alto orden. Son xenoblásticos y heteroblásticos, se observan fuertemente fracturados, en algunos individuos se puede observar la exfoliación rombohedral y están asociados en contacto neto a los cuarzos; presentan en su interior pequeñas bandas de clorita y algunos piroxenos epidotizados. Su distribución en la roca es heterogénea.

Muscovita (5%): Individuos hojosos de relieve medio y colores de interferencia de amarillos y fucsias de tercer orden. Son subidioblásticos y homeoblásticos de tamaño muy fino (0.06mm). Se presentan ligeramente orientados, están relacionados en contacto neto con el cuarzo haciendo parte del material reducido de la roca, formando la matriz de la misma. Su distribución en la roca es heterogénea.

Feldespatos Potásicos (3 - 3.8%): Minerales incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden. Son xenoblásticos y heteroblásticos con tamaño de cristales que varían de muy finos a finos. No están orientados, hacen parte de la matriz de la roca y su distribución en la misma es heterogénea. Se presentan ligeramente alterados a caolín.

El caolín se observa como masas cristalinas color gris que cubren la superficie de los cristales de feldespato potásico.

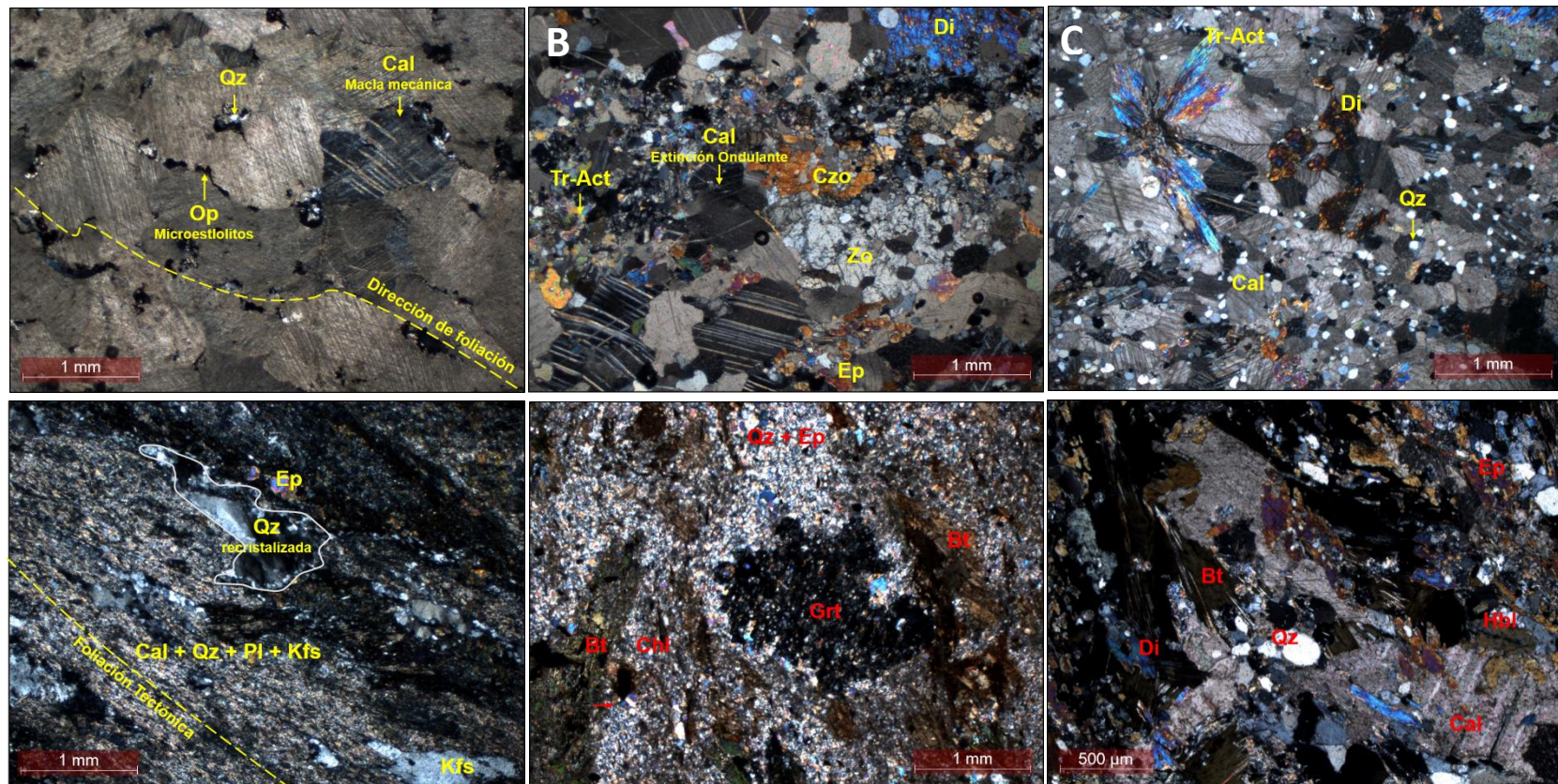
Minerales Opacos (0.3%): Minerales de color negro, idioblásticos a subidioblásticos de formas prismáticas ligeramente cuadradas a rectangulares. No se muestran orientados en la sección, están asociados principalmente a la matriz de la roca. Su distribución en la misma se considera como heterogénea. Se muestran ligeramente oxidados desde sus bordes al interior.

Zircón (0.1 - 0.2%): Minerales incoloros de relieve muy alto y colores de interferencia de fucsias y verde de muy alto orden. Son subidioblásticos de forma granular, se encuentran asociados a los cristales que forman la matriz de la roca. Su distribución es heterogénea.

Titanita (0.1%): Individuos de color marrón, xenoblástico no orientado, asociado en contacto neto con cuarzo y calcita. Su distribución en la roca es heterogénea.

Estas rocas presentan de manera general una textura granoblástica a nematogranoblástica. También se presentan las texturas cataclástica y milonítica.

Figura 29. Microfotografías de las rocas meta-carbonatadas. **A:** Mármol puro con calcitas que exhiben maclado mecánico, Muestra SB-54; **B:** Deformación en cristales de calcita, Muestra SB-3; **C:** Tremolita-Actinolita radial en mármol impuro; Muestra SB-159; **D:** Textura milonítica, roca epidotizada y sericitizada; Muestra SB-145; **E:** Porfidoblasto de granate en una matriz de cuarzo y epidota; Muestra SB-106; **F:** Ocurrencia de biotita, diópsido, epidota, hornblenda, cuarzo y calcita; Muestra SB-106. (A-F) Nicoles cruzados.



8. METAMORFISMO

El área de estudio fue afectada por un metamorfismo de tipo regional el cual generó las intercalaciones de filitas, esquistos pelíticos, semipelíticos y cuarcitas así como cuerpos discontinuos de rocas carbonatadas y calcosilicatadas. En algunos sectores las rocas mencionadas metamorfismo dinámico asociado a la marcada actividad tectónica de la zona.

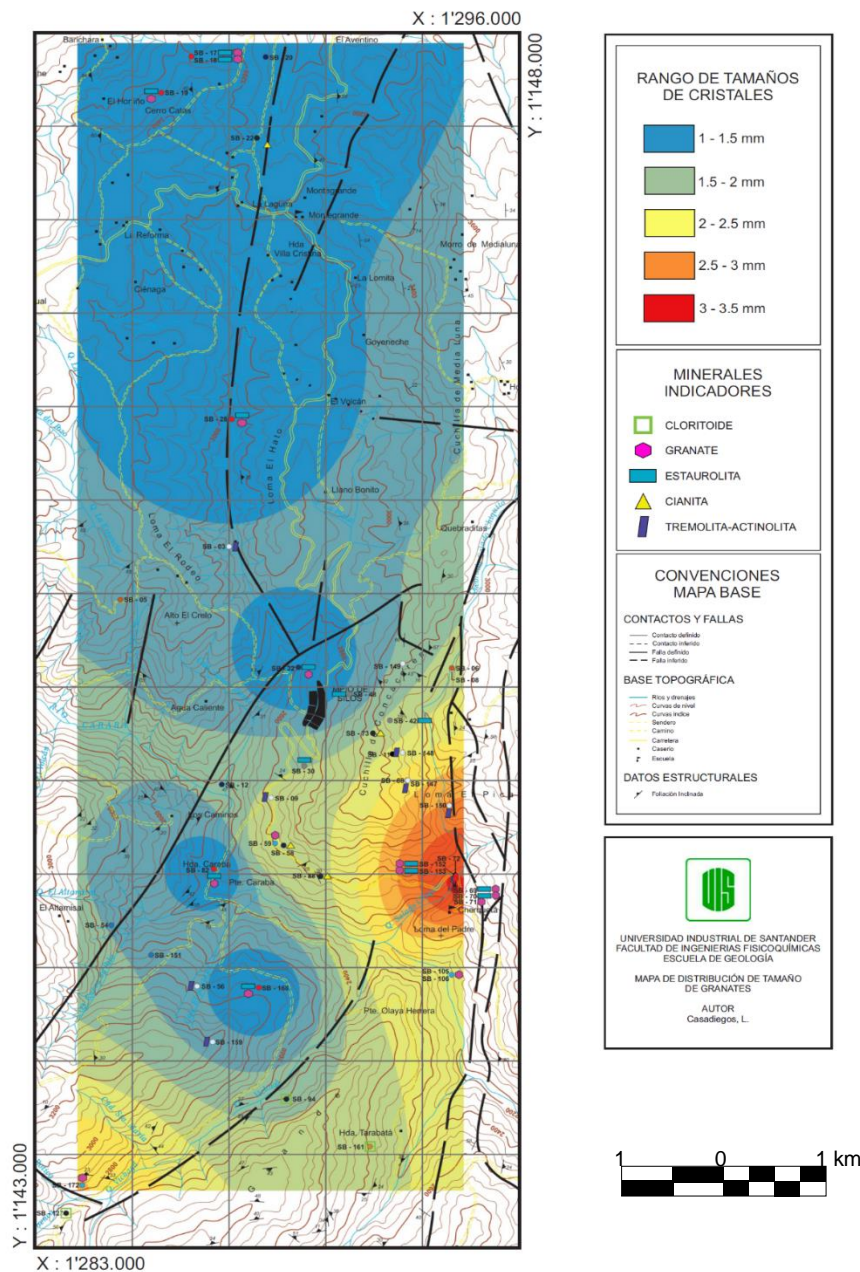
8.1 METAMORFISMO REGIONAL

El metamorfismo regional del área de estudio es de medio a alto grado, alcanzado la facies de la anfibolita en la zona estaurolita-cianita, la cual corresponde al pico metamórfico. Otras paragénesis definidas indican la zona de la biotita en la facies esquistos verdes (Ver Figura 32). La etapa retrograda del metamorfismo se evidencia por la cloritización del granate y la biotita, sericitización de plagioclasa, estaurolita y cianita y por la caolinización de los feldespatos potásicos.

La zona de la biotita se desarrolla hacia el SW del área de estudio, en el sector de Loma Grande en cercanías de la Quebrada Vichagá; presentándose solo en rocas pelíticas correspondientes a filitas y esquistos con cloritoides. En estas la foliación principal es definida por muscovita, cuarzo y plagioclasa, sobreimpuesta por porfidoblástos de clorita y cloritoide dispuestos de manera aleatoria que marcan un segundo evento deformativo.

Como dato adicional, se observó un incremento generalizado del tamaño de cristales de granate hacia el sector SW de la zona, aunque junto a este siempre se encuentra asociada la estaurolita (Ver Figura 31).

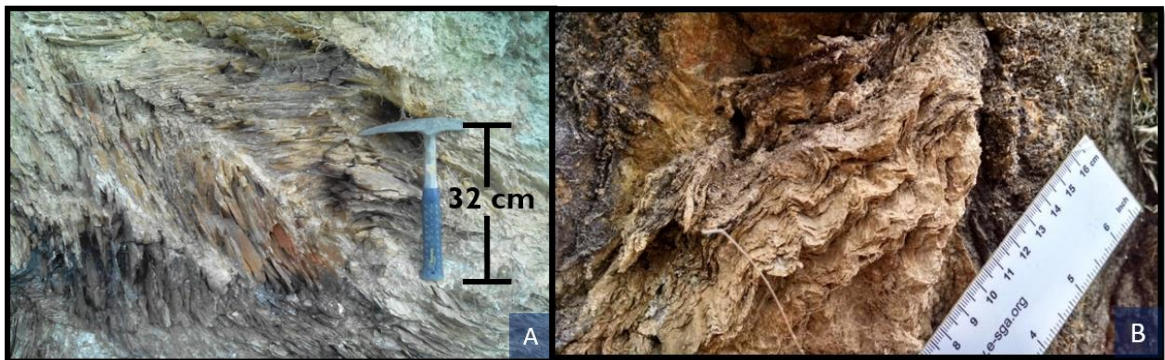
Figura 31. Distribución del tamaño de granates en el área de estudio.



8.2 METAMORFISMO DINÁMICO

Este tipo de metamorfismo es restringido y se intensifica hacia las zonas de fallas, principalmente al lineamiento definido por el Sistema de Fallas de Angosturas. Sus evidencias se aprecian en todas las escalas de análisis. A escala de afloramiento se puede observar plegamientos y crenulaciones que generan una foliación posterior a la generada por el metamorfismo regional; también se encontraron cataclasitas (SB-144) y milonitas (SB-132 y SB-145), las primeras como resultado de una deformación de tipo frágil (profundidades <10 km, presión litostática <3Kbar y temperaturas <300°C) y las segundas de tipo dúctil. A nivel microscópico se tienen fábricas de tipo S-C (Ver Figura 11C), microplegamientos de micas (Ver Figura 9D), pliegues tipo “*kink*” en cristales de biotitas (Ver Figura 11D y 19B), extinción ondulante y recristalización de cristales de cuarzo (Ver Figura 29D), y maclas mecánicas en plagioclasas y calcitas (Ver Figuras 11F y 29A).

Figura 33. Metamorfismo dinámico a escala de afloramiento. A: Microplegamiento tipo Chevron en esquistos muscovíticos; **B:** Crenulaciones en esquistos micáceos con granate.



Fuente: Galería fotográfica del grupo 1 de Campo II, Escuela de Geología, primer semestre del 2015.

9. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN LAS DIFERENTES FRANJAS DEL MACIZO DE SANTANDER

En este capítulo, se presenta un aporte adicional al análisis comparativo que Rueda y Villamizar (2014)⁷⁸ desarrollan en su trabajo de investigación, con el fin de brindar una visión global actualizada de lo que hasta ahora se conoce entorno a las características litológicas y condiciones de metamorfismo de los Esquistos del Silgará, permitiendo así un mejor entendimiento de la naturaleza y la evolución de estas rocas en el tiempo geológico. La Figura 35, ilustra de manera resumida dichas características.

Como ya lo había especificado Rueda y Villamizar (2014)⁷⁹, de acuerdo con Clavijo (1994)⁸⁰, Royero y Clavijo (2001)⁸¹, los Esquistos del Silgará se ubican en la provincia tectonoestratigráfica del Macizo de Santander la cual presenta un fallamiento inverso con dirección predominante NS, que ocasiona la división de la misma en 5 bloques tectónicos: Bloque Floresta, Ocaña, Cucutilla, Pamplona y Labateca donde afloran los Esquistos del Silgará (Ver Figura 34).

Como se resume en la Figura 31, los Esquistos del Silgará litológicamente se caracterizan por la predominancia de rocas pelíticas, seguido de las semipelíticas y en menor proporción ocurren psamitas, cuarcitas, rocas carbonatadas (mármol puro, mármol impuro, rocas calcosilicatadas y rocas silicatadas con carbonatos) y rocas máficas. Las franjas Sardinata-Abrego Hacarí, Matanza-Cachirí-Turkey y

⁷⁸ RUEDA GARZÓN, Luisa Fernanda, y VILLAMIZAR PABÓN, Deicy Yocelin., op. cit, p.36.

⁷⁹ *Ibíd.*, p.36.

⁸⁰ CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander, Memoria Explicativa. Bucaramanga: INGEOMINAS, 1994. 47 p.

⁸¹ ROYERO, J., Y CLAVIJO, J., op cit, p.29.

Pamplona son secuencias litológicas muy similares que se componen principalmente de pelitas y semipelitas, y aunque litológicamente la Franja Pescadero-Aratoca está también regida por esta composición, esta se destaca por su contenido de rocas máficas. Por último, las franjas de Mutiscua y Silos-Bábega son las que reportan una mayor variedad litológica, incluyendo rocas pelíticas, semipelíticas y las variedades de rocas carbonatadas, diferenciándose entre sí en que la franja de Silos incluye cuarcitas.

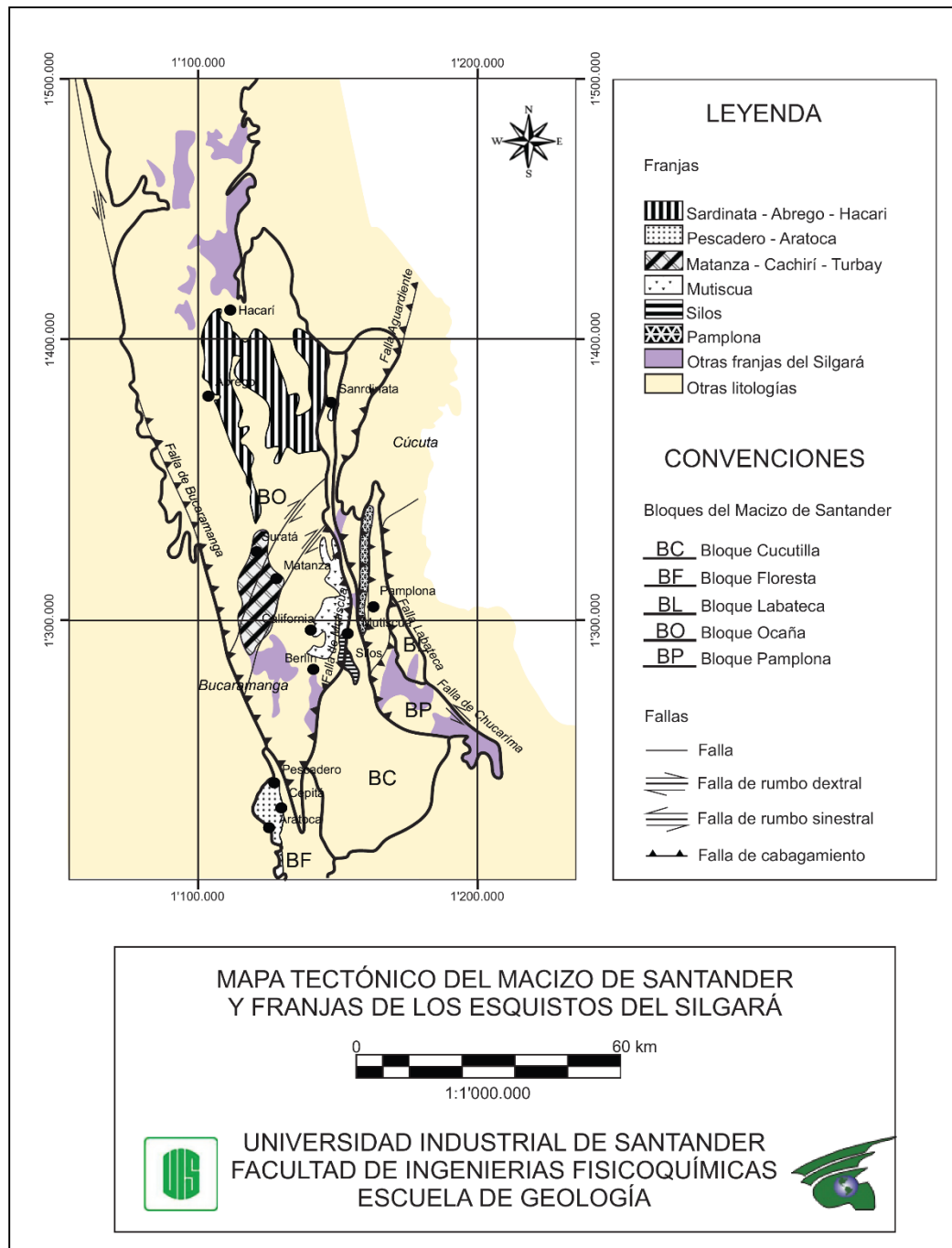
En cuanto a las condiciones de metamorfismo, los Esquistos del Silgará han sido afectados por un metamorfismo de tipo Barrow y Buchan o Abakuma (en las franjas Sardinata-Abrego-Hacarí); posteriormente y de manera local se sobreimponen un metamorfismo de contacto en el área Sardinata-Abrego-Hacarí en facies anfíbol y piroxeno corneana, y un metamorfismo dinámico en los sectores de Matanza-Cachirí-Turbay, Mutiscua y Silos. García (2007)⁸² indica que la secuencia zonal para estas rocas corresponde a clorita-biotita-granate-andalucita-estaurolita-cianita-silimanita, pero como se observa en la Figura 31, dicha secuencia zonal está incompleta en las diferentes franjas: en la franja Sardinata-Abrego-Hacarí no se presentan las zonas de la cianita, estaurolita y silimanita, pero si se encuentra la zona de la andalucita, desarrollada a bajas presiones (< 3.7Kb), indicando un metamorfismo de grado medio en relación con las otras franjas; en la franja Pescadero-Aratoca está ausente la zona de la clorita y la de la silimanita aún no está bien definida; en la franja Matanza-Cachirí-Turbay solo se observa hasta la parte inferior de la zona del granate de las facies esquistos verdes; en la franja en la franja Mutiscua la secuencia de más bajo grado corresponde a la del granate y finaliza en la de la silimanita, indicando un metamorfismo de alto grado; en la franja de Silos tenemos el desarrollo de las zonas de la biotita, cianita y estaurolita, estando ausente según este estudio la zona del granate y la andalucita, aunque

⁸² GARCÍA, Carlos Alberto. Manual de Practicas de Petrología Metamórfica. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2007. 88 p.

Castellanos-Alarcón *et al.* (2016)⁸³ si reporta la zona del granate; por último, en la franja de Pamplona solo afloran las zonas de la estaurolita-cianita y la transición a la silimanita, asociándose al igual que la de Mutiscua a un metamorfismo de alto grado.

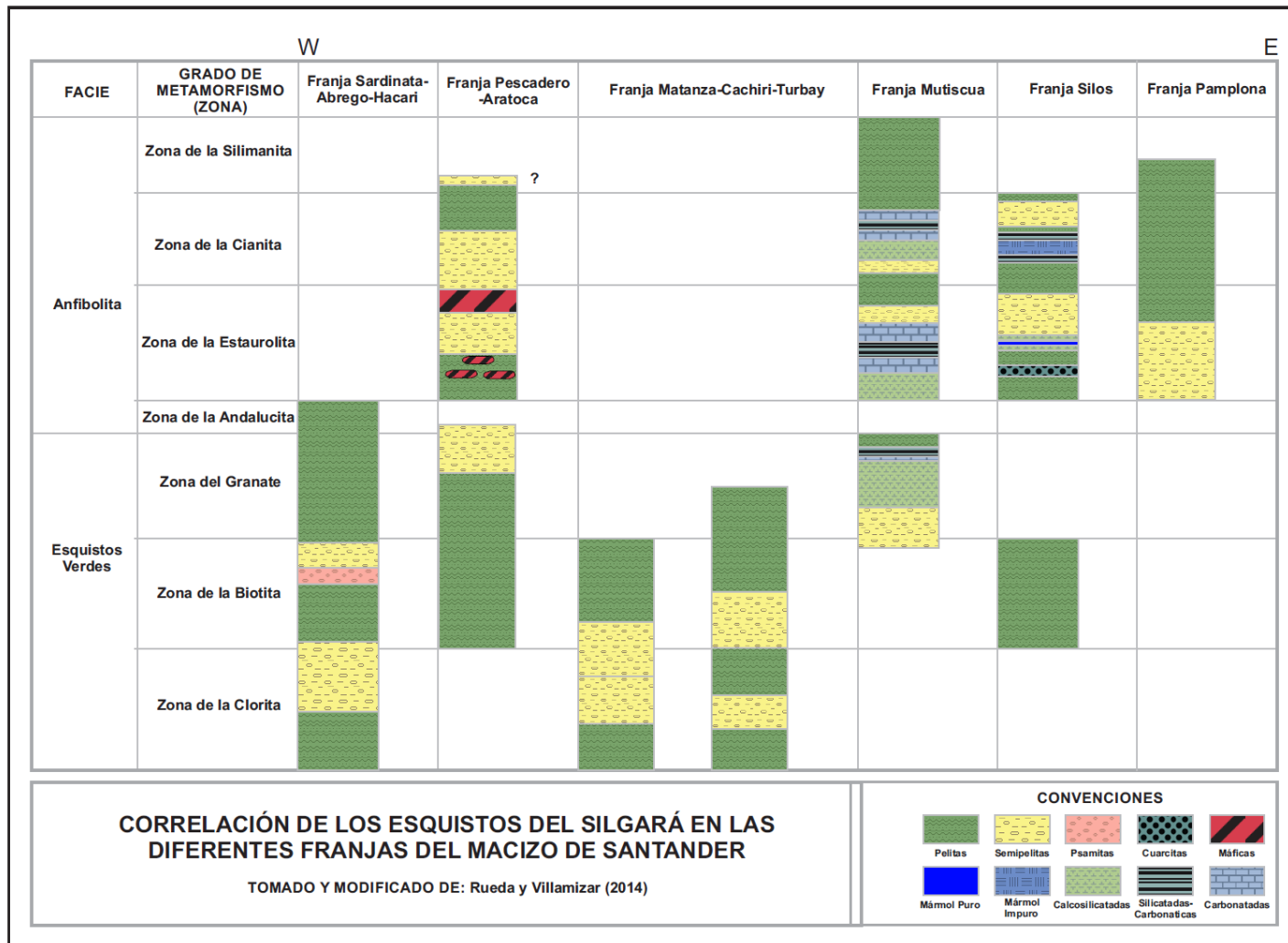
⁸³ CASTELLANOS-ALARCÓN, Oscar; RÍOS-REYES, Carlos and GARCÍA-RAMÍREZ. Occurrence of chloritoid-bearing metapelitic rocks and their significance in the metamorphism of the Silgará Formation at the Central Santander Massif. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. Vol. 40, (Julio, 2016); p. 5-15. ISSN: 0120-3630.

Figura 34. Mapa tectónico del Macizo de Santander y franjas de los Esquistos del Silgará.



Fuente: Maya y Vásquez (2001); Cruz et al. (2014). Tomado y modificado de Rueda y Villamizar (2014).

Figura 35. Características de las diferentes franjas de los Esquistos del Silgará.



10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las rocas metamórficas aflorantes en el sector de Silos Norte de Santander son de tipo pelíticas, semipelíticas, cuarzofeldespáticas y carbonatadas, las cuales fueron metamorfizadas en condiciones de zona de la biotita de la facies esquistos verdes y la zona de la estaurolita-cianita de la facies anfibolita. La sucesión y características composicionales de estas rocas corresponden a un sistema químico KFMASH. La paragénesis del pico metamórfico es $Qt \pm Pl + Bt + Grt + St \pm Ky$; Estas condiciones corresponderían de acuerdo con Spear (1995)⁸⁴ a presiones entre 5.3 y 6.3Kb y temperaturas entre 570 y 620°C. La configuración tectónica compleja de la zona, así como la imposibilidad de verificar algunos contactos litológicos por cubierto de la zona sur han generado incertidumbre en relación a la continuidad de la secuencia metamórfica. La zonación metamórfica aquí identificada no concuerda con la reportada por Ward *et al.* (1970)⁸⁵, quien además no hace énfasis en la presencia de estaurolita-cianita. Por otro lado, Castellanos-Alarcón *et al.* (2016)⁸⁶ propone la secuencia zonal de biotita, granate y estaurolita-cianita, la cual para nuestro caso no concuerda debido a que si bien los granates de mayor tamaño se encuentran hacia ese sector (Sur del área de estudio, al W de la falla de Angosturas, Ver Figura 32) estos están asociados a estaurolita.

La diferencia en la distribución zonal de los autores arriba mencionados y la zonación indicada en este estudio podría explicarse en relación al fuerte tectonismo de la zona que ha generado bloques separados por fallas con historia metamórfica diferente. En particular, esto es muy notorio al sur de Silos en los sectores de la

⁸⁴ SPEAR, F., op. cit, p.27.

⁸⁵ WARD, D., et al., op. cit, p.29.

⁸⁶ CASTELLANOS-ALARCÓN, Oscar; RÍOS-REYES, Carlos and GARCÍA-RAMIREZ., op. cit, p.133.

Quebrada Vichagá, en donde se observa un cambio brusco de filitas y esquistos de grano fino con presencia de porfidoblastos postectónicos de cloritoide a esquistos con estaurolita y granate de grano medio. El contacto entre estos dos tipos de litología está cubierto y, en los sitios donde se observan afloramientos, estos son bloques removidos y con fracturación intensa. Por otra parte, es el único sitio del Macizo de Santander en el cual fue reportada por primera vez la ocurrencia de cloritoide por Castellanos-Alarcón *et al.* en 2016⁸⁷. Según estos autores el cloritoide se podría haber formado durante la etapa retrograda de meta-pelitas o por un evento metamórfico térmico isobárico, relacionado con el emplazamiento de magmas graníticos.

El carácter postectónico del cloritoide, el tipo de roca (filitas y esquistos) y el tamaño de grano muy fino de la matriz compuesta por muscovita, grafito, opacos, cuarzo, así como la ausencia de minerales como granate, biotita y estaurolita, evidencian una interrupción abrupta de la secuencia y zonación metamórfica. Esto podría deberse a:

- 1) Cambio marcado en la composición del protolito a diferencia del resto de la secuencia del Macizo de Santander, acompañado de calentamiento isobárico;
- 2) Fuerte tectonismo que formó bloques aislados con historia tectonometamórfica diferente;
- 3) Las filitas y esquistos con cloritoide pertenecerían a una unidad diferente, similar a las Filitas de San Pedro, Floresta Metamorfoseado o meta-sedimentitas de bajo grado aún por definir, identificadas por varios autores en la zona de Guaca, Aratoca

⁸⁷ CASTELLANOS-ALARCÓN, Oscar; RÍOS-REYES, Carlos and GARCÍA-RAMÍREZ., op. cit, p.133

y Mogotes (Royero y Clavijo, 2001; Moreno *et al.*, 2007; Mantilla *et al.* 2016, Cardona, *et al.* 2016).

Los datos y resultados obtenidos en este estudio no permiten dar respuesta o despejar estos interrogantes para los cuales es importantísimo entre otros, estudios geocronológicos, termobarométricos y estructurales.

.

11. CONCLUSIONES

Los Esquistos del Silgará en los alrededores del Municipio de Silos-Norte de Santander están constituidas por rocas metamórficas pelíticas, semipelíticas, cuarcitas y rocas carbonatadas. Las rocas meta-pelíticas comprenden filitas con cloritoides y esquistos muscovíticos con cloritoides, los esquistos cuarzo-micáceos y los esquistos micáceos con estaurolita; en cuanto a las semipelitas, las variedades litológicas corresponden a esquistos micáceo-cuarzosos con estaurolita – cianita – granate, cuarcitas con estaurolita y granate, cuarcitas biotíticas con granate y cuarcitas muscovíticas. Por último, las rocas carbonatadas corresponden a mármoles puros, mármoles impuros, rocas calcosilicatadas y silicatadas con carbonatos.

Las rocas meta-pelíticas se caracterizan por la asociación de $Ms + Qz \pm Pl \pm Kfs \pm Bt \pm Cld \pm Grt + Gr \pm St$ con turmalinas, zircones, titanita, rutilo y opacos como minerales accesorios. Las principales texturas de estas rocas son: granolepidoblástica, porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, poiquiloblástica y milonítica.

Las rocas metamórficas semipelíticas se caracterizan por la asociación mineral correspondiente a $Qz + Ms + Bt \pm Pl \pm Kfs \pm Ky \pm Chl \pm Grt \pm Gr \pm Opq$ con turmalinas, zircones, titanita y rutilos como minerales accesorios. Las texturas identificadas para este tipo de rocas son: lepidogranoblástica, granolepidoblástica, porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica, porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, poiquiloblástica y esqueletal.

Las cuarcitas presentan una asociación mineral de tipo $Qz + Ms + Pl + Bt$ con minerales opacos, zircón, turmalina y rutilos como minerales accesorios; las texturas son de tipo granoblástica que varía de en algunos casos a lepidogranoblástica.

Las rocas carbonatadas consisten en mármol puro con asociaciones minerales de $Cal + Qz$ con minerales opacos, diópsido y titanita como minerales accesorios; mármoles impuros con asociaciones minerales de $Cal + Qz \pm Bt \pm Di \pm Tr-Act \pm Pl \pm Zo \pm Czo \pm Ep$ con grafito, zircón, titanita y pirita como minerales accesorios; rocas calcosilicatadas con $Qz + Ep + Bt + Hbl + Di + Opq$ con granate y titanita como minerales accesorio y por último, rocas silicatadas con carbonatos con asociaciones minerales de $Qz + Pl \pm Hbl + Ep + Cal + Ms + Bt + Kfs$ con zircón, titanita y opacos como minerales accesorios. Estas son en general rocas de estructura bandeada y granofelsas que exhiben texturas granoblásticas, nematogranoblástica, cataclástica y milonítica.

El metamorfismo de esta zona es principalmente regional de tipo Barroviense, seguido por un metamorfismo dinámico sobreimpuesto asociado a la alta actividad tectónica del área, causada por el sistema de fallas de tipo regional (Falla de Angosturas) y las fallas satélites asociadas. El pico metamórfico se alcanzó en la zona de la cianita-estauroлита en la facies anfibolita, indicada por la paragénesis $Qz \pm Pl + Bt + Grt + St \pm Ky$ a condiciones: $T = 570 - 620^{\circ}C$ y $P = 5.3 - 6.3Kb$ de acuerdo a lo definido por Spear (1995)⁸⁸ para el sistema KFMASH.

Las relaciones porfidoblásto-matriz, blastesis de formación, así como el análisis de las microestructuras (foliación) permitieron identificar las siguientes etapas de evolución: (1) desarrollo de la primera foliación metamórfica evidenciada por la

⁸⁸ SPEAR, F., op. cit, p.27.

asociación mineral de cuarzo \pm minerales opacos conservada de manera alineada a ligeramente plegada en el interior de porfidobláastos pre-tectónicos y considerada como S_n . (2) Crecimiento de porfidobláastos de granate, estaurolita, cianita, plagioclasa, biotita y magnetita que en la mayoría de los casos contienen cristales de cuarzo y minerales opacos que aunque están orientados, su disposición no concuerda con la foliación principal evidenciada en la matriz de las rocas, por lo cual se asocian a una foliación S_{n+1} . (3) Evento asociado a la formación de lo que aquí se denominó como la foliación principal de las rocas o S_{n+2} ; dicha foliación está formada por bandas poliminerálicas de muscovita, biotita, cuarzo y en menor cantidad plagioclasa, feldespatos potásicos y minerales opacos que en muchos de los casos se disponen en dominios de clivajes y microlitones, los cuales presentan una fuerte deflexión alrededor de los porfidobláastos. (4) Evento de tipo dinámico causante de la formación de algunas estructuras tales como microplegamientos, crenulaciones, micas tipo “*fish*”, maclado mecánico de plagioclasa y calcitas, texturas milonítica y cataclástica las cuales se asocian a la foliación S_{n+3} . (5) Cristalización de porfidobláastos post-tectónicos de cloritoide y clorita las cuales se superponen a la foliación principal, aun en los casos donde esta se observa crenulada definiendo así, una foliación S_{n+4} .

El análisis comparativo de las distintas franjas del Macizo de Santander donde afloran los Esquistos del Silgará indican que estos corresponden principalmente a rocas metamórficas de composición pelítica, semipelítica y en menor cantidad cuarcitas, rocas carbonatadas y rocas máficas, siendo las franjas de Mutiscua y Silos litológicamente muy similares, presentando una gran variedad litológica y condiciones casi similares de metamorfismo. Así mismo, considerando solo condiciones de metamorfismo, la franja de Silos es muy similar a la franja

Pescadero-Aratoca, definida como Esquistos del Chicamocha según Mantilla *et al.* (2016a)⁸⁹.

⁸⁹ MANTILLA-FIGUEROA, Luis; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos y VALENCIA, Victor., *op. cit.*, p.33.

12. RECOMENDACIONES

Hacer estudios geotermobarométricos para establecer condiciones P-T de metamorfismo de los Esquistos del Silgará en el área de estudio.

Realizar estudios geocronológicos, tectonoestratigráficos y afines que permitan determinar las condiciones y edades de sedimentación del protolito y del metamorfismo de los Esquistos del Silgará, con el fin de establecer de manera más clara la evolución de esta unidad.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA FERREIRA, Sergio. Caracterización petrográfica y petrológica de las migmatitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamento de Norte de Santander y Santander. Master Tesis. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento Geociencias, 2012. 130 p.

ARENAS, Camilo Arturo. Geología del sector Silos - Bábega. Macizo de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2015. 104 p.

ARENAS MOSQUERA, 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. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento Geociencias, 2004. 156 p.

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

ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región central de Macizo de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de

Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2006. 117 p.

BARRAGÁN ARIAS, Mario Fernando y MONTENEGRO BUITRAGO, Gustavo Adolfo. Metamorfismo y evolución metamórfica del área comprendida entre los municipios de Vetas (Santander) y Mutiscua (Norte de Santander). Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 1999. 92 p.

CAMPOS ALVAREZ, Nelson Orlando. Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará al oeste de la falla de Mutiscua, Cordillera Oriental, Colombia. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 1998. 140 p.

CARDONA, A., VALENCIA, V.A., LOTERO, A., VILLAFANEZ, Y. & BAYONA, G. Provenance of middle to late Paleozoic sediments in the northeastern Colombian Andes: implications for Pangea reconstruction. En: International Geology Review. Vol. 58, (Junio, 2016); 26 p. ISSN: 0020-6814.

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

CASTELLANOS, Oscar y RÍOS, Carlos. A case of regional metamorphism of Buchan type (andalusite-cordierite) in the Northern Santander Massif, Eastern

Cordillera (Colombia). En: Ciencias de la Tierra. Vol. 39, No 152 (Julio-Septiembre, 2015); p. 416-429.

CASTELLANOS-ALARCÓN, Oscar; RÍOS-REYES, Carlos and GARCÍA-RAMIREZ. Occurrence of chloritoid-bearing metapelitic rocks and their significance in the metamorphism of the Silgará Formation at the Central Santander Massif. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. Vol. 40, (Julio, 2016); p. 5-15. ISSN: 0120-3630.

CASTELLANOS, O.; RÍOS, C., and TAKASU, A. Chemically sector-zoned garnets in the metapelitic rocks of the Silgará Formation in the central Santander Massif, Colombian Andes: occurrence and growth history. En: Boletín de Geología. Vol. 26, No 42 (Enero-Junio, 2004); p. 9-18.

CASTELLANOS, Oscar; RÍOS, Carlos 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. Vol. 12, No 2 (Diciembre, 2008); p. 125-155.

CAVIEDES GONZÁLES, Marco Aurelio y GÓMEZ VILLA, Rafael Enrique. Petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región central del Macizo de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2006. 96 p.

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

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

GARCÍA, C. y CAMPOS, N. 2000. Composición química y mineralógica de las biotitas metamórficas del sector central del Macizo de Santander, Colombia. En: Boletín de Geología. Vol. 22, No 37 (Julio-Diciembre, 2000); p. 18-2

7.

GARCÍA, C., RÍOS, C. and CASTELLANOS, O. Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes, Colombia. En: Boletín de Geología. Vol. 27, No 2 (Julio-Diciembre, 2005); p. 43-68.

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.

GUTIÉRREZ CAVIELES, Claudia Patricia. Petrografía y mineralogía de las Formaciones Silgará y Ortoneis en el área de Pamplona (Norte de Santander). Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2001. 173 p.

MANTILLA-FIGUEROA, Luis; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos y VALENCIA, Victor. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. En: Boletín de Geología. Vol. 38, No 1 (Enero-Abril, 2016); p. 33-50.

MANTILLA FIGUEROA, Luis; *et al.* Estudio 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. Vol. 23, No 38 (Enero-Junio, 2001); p. 69-75.

MANTILLA, L.; RÍOS, C. y CASTELLANOS, O. 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. Vol. 24, No 39 (Enero-Junio, 2002); p. 7-17.

MANTILLA FIGUEROA, Luis; *et al.* Nuevas evidencias acerca de la presencia de una banda de cizallamiento en la Formación Silgará del sector Aratoca-Pescadero (Región suroccidental del Macizo de Santander). En: Boletín de Geología. Vol. 25, No 40 (Enero-Junio, 2003); p. 81-90.

MANTILLA-FIGUEROA, Luis; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos y VALENCIA, Victor. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la Formación Silgará y propuesta de nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). En: Ciencias de la tierra. Vol. 40, No 155 (Abril-Junio, 2016b); p. 320-336.

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

MORENO-SANCHEZ, M., GÓMEZ, A., and CASTILLO H. La "Formación Floresta metamorfoseada" (sensu Ward., 1973) no es la formación floresta sin

metamorfosear, in X Congreso Colombiano de Geología: Paipa, Resúmenes. 2007, 7 p.

MOSQUERA-MACHADO, S.; *et al.* Ground effects of the 18 October 1992, Murindo earthquake (NW Colombia), using the Environmental Seismic Intensity Scale (ESI 2007) for the assessment of intensity. En: The Geological Society of London, Special Publications. Vol. 316 (2009); p. 123-144.

NIÑO PINZÓN, 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. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2012. 120 p.

NÚÑEZ, A. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia, Filitas y Esquistos de Buzbanzá. Bogotá: INGEOMINAS. 2000, 21 p.

PASSCHIER, W. and TROUW, R. Microtectonics. Berlin: Editorial Springer-Verlag, 2005. 353 p.

QUIROZ PRADA, Carlos Augusto y HERNÁNDEZ DUARTE, Yenny Yulieth. Estudio composicional y paragenético de las turmalinas presentes en rocas metamórficas de la Formación Silgará (Cerro de las Antenas, municipio de Pamplona): implicaciones genéticas. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2015. 69 p.

RESTREPO PACE, P. Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes based on new geochronological, geochemical and isotopic data. Unpublished Ph.D Thesis, University of Arizona. [Online] 1995. 195 p.

RESTREPO-PACE, Pedro; *et al.* Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. En: Earth and Planetary Science Letters. Vol. 150 (Mayo, 1997); p. 427-441.

RÍOS REYES, C. 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. Vol. 23, No 38 (Enero-Junio, 2001); p. 41-49.

RÍOS, Carlos. and CASTELLANOS, O. First report and significance of the staurolite metabasite associated to a sequence of calc-silicate rocks from the Silgará Formation at the central Santander Massif, Colombia. En: Ciencias de la Tierra. Vol. 38, No 149 (Octubre-Diciembre, 2014); p. 418-429.

RÍOS REYES, C. y GARCÍA RAMIREZ, C. Primera ocurrencia de los tres polimorfos de Al_2SiO_5 en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Vol. 23, No 38 (Enero-Junio, 2001); p. 51-59.

RÍOS, C.; *et al.* Petrogenesis of the metacarbonate and related rocks of the Silgará Formation, Central Santander Massif, Colombian Andes: An overview of a "Reaction

Calcic Exoscarn". En: Earth Sciences Research Journal. Vol. 12, No 1 (Junio, 2008a); p. 72-106.

RÍOS, Carlos; CASTELLANOS, Oscar and TAKASU, Akira. A new interpretation for the garneth zoning in metapelitic rocks of the Silgará Formation, southwestern Santander Massif, Colombia. En: Earth Sciences Research Journal. Vol. 12, No 1 (Junio, 2008b); p. 7-30.

RÍOS, Carlos; CASTELLANOS, Oscar 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. Vol. 14, No 2 (2010); p. 161-172.

RÍOS, C., GARCÍA, C., and TAKASU, A. Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. En: Journal of South American Earth Sciences. Vol. 16, No 2 (2003a); p. 133-154.

RÍOS REYES, C.; *et al.* 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. Vol. 25, No 40 (Enero-Junio, 2003b); p. 23-38.

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

ROSEN, Oleg; DESMONS, Jacqueline Y FETTES, Douglas. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 7. Metacarbonate and related rocks. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the systematics of metamorphic rocks. 2007 [Consultado: 4 de Diciembre de 2016]. Disponible en: https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_7.pdf

ROYERO, J., Y CLAVIJO, J. Memoria explicativa del mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 2001, 92 p.

RUEDA GARZÓN, Luisa Fernanda, y VILLAMIZAR PABÓN, Deicy Yocelin. Petrografía de los Esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2014. 129 p.

SCHÄFER, J., GRÖSSER, J., AND RODRÍGUEZ, G. 1997. 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.

SCHMID, Rolf, et al. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the systematics of metamorphic rocks. 2007 [Consultado: 4 de Diciembre de 2016]. Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/SCMR/docs/papers/paper_1.pdf

SILVA, J., SIAL, A., FERREIRA, V., ARENAS, J. AND JIMENEZ, D. C-Isotope stratigraphy of some Ediacaran-Cambrian carbonate successions in NW Gondwana. Reunion Nacional Ciencias de la Tierra (4): Memorias. México, 2004, p. 327-330.

SPEAR, F. The Metamorphism of pelites. En: Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Washington: Mineralogical Society of America, 1995, p. 337-391.

WARD, D., et al. 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.

WHITNEY, Donna and EVANS, Bernard. Abbreviations for names of rock-forming minerals. En: American Mineralogist. Vol. 95 (2010); p. 185-187.

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