

**PETROGRAFÍA DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN EL SECTOR DE
BERLÍN (MACIZO DE SANTANDER).**

ANDREA KATHERINE FERNÁNDEZ ROJAS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015**

**PETROGRAFÍA DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN EL SECTOR DE
BERLÍN (MACIZO DE SANTANDER).**

ANDREA KATHERINE FERNÁNDEZ ROJAS

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

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

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

2015

DEDICADO A

A Dios por darme sabiduría, paciencia, tolerancia y mucha perseverancia para culminar mis estudios satisfactoriamente.

A mi madre que hizo esta carrera conmigo y se gradúa al tiempo conmigo culminando un sueño mutuo que decidió seguir y apoyar firmemente.

A mi familia, amigos, profesores y allegados que aportaron a esta carrera profesional que ya culmina.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres que me acompañaron en todo mi proceso de formación.

Al profesor Carlos Alberto García Ramírez por su acompañamiento en todas las fases de este proyecto, su enseñanza y asesoría.

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

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

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

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

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

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. GENERALIDADES.....	16
2.2 CLIMA Y ALTURA	17
2.3 HIDROGRAFIA	18
3. METODOS.....	19
3.1 ETAPA PRE-CAMPO	19
3.2 ETAPA DE CAMPO	19
3.3 ETAPA DE LABORATORIO	20
3.3.1 Preparación de secciones delgadas pulidas	20
3.3.2 Análisis petrográfico	20
3.4 ETAPA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	22
3.5 ETAPA DE REDACCIÓN DEL INFORME FINAL	22
4. ANTECEDENTES.....	24
4.1 ESTUDIOS PETROGRAFICOS	24
4.2 ESTUDIOS GEOQUIMICOS	29
4.3 ESTUDIOS TERMOBAROMETRÍA Y TRAYECTORIAS P-T	31
5. MARCO GEOLÓGICO.....	35
5.1 REGIONAL	35
5.2 LOCAL	37
5.2.1 Ortoneis	38
5.2.2 Formación Silgará	38
5.2.3 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara	40
5.2.4 Granito de Pescadero	40
5.2.5 Formación Tambor	40

6.	PETROGRÁFIA	42
6.1	ROCAS PELÍTICAS	46
6.1.1	Esquistos cuarzo-muscovíticos con granate	46
6.1.2	Esquistos cuarzo-muscovíticos	49
6.1.3	Esquistos muscovítico-cuarzosos con granate	51
6.1.4	Esquistos muscovítico-cuarzosos	55
6.2	ROCAS SEMIPELÍTICAS	58
6.2.1	Cuarcitas con granate	58
6.2.2	Cuarcitas	60
6.3	ROCAS PSAMITAS	61
6.3.1	Cuarcitas	62
7.	METAMORFISMO	64
7.1	METAMORFISMO DINÁMICO	64
7.2	METAMORFISMO REGIONAL	65
7.2.1	Paragénesis minerales	65
8.	DISCUSIÓN	68
9.	CONCLUSIONES	69
10.	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	72
	ANEXOS.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	17
Figura 2. Esquema tectónico del Macizo de Santander	36
Figura 3. Mapa geológico del área de estudio	37
Figura 4. Subdivisión de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y mica	43
Figura 5. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate.	48
Figura 6. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos	50
Figura 7. Microfotografías de esquistos muscovítico-cuarzosos con granate	54
Figura 8. Microfotografías de esquistos muscovítico-cuarzosos	57
Figura 9. Microfotografías de cuarcitas con granate	59
Figura 10. Microfotografías de cuarcitas	61
Figura 11. Microfotografías de cuarcitas	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Listado de muestras y análisis realizados	21
Tabla 2. Abreviaturas minerales usadas	22
Tabla 3. Clasificación de rocas compuestas principalmente por cuarzo, mica y feldespatos.	42
Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará. Rocas pelíticas	44
Tabla 5. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará. Rocas semipelíticas y psamitas.	45

ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Catálogo de muestras de la franja de Berlín (sección delgada)	82
Anexo B: Mapa geológico de la zona de estudio	82
Anexo C: Fotos de muestras sección delgada Esquistos del Silgará	82

RESUMEN

TÍTULO: PETROGRAFÍA DE LOS ESQUISTOS DEL SILGARÁ EN EL SECTOR DE BERLÍN (MACIZO DE SANTANDER).*

AUTOR: Andrea Katherine Fernández Rojas.**

PALABRAS CLAVE: Esquistos del Silgará, Macizo de Santander, Franja Berlín.

DESCRIPCIÓN: Los Esquistos del Silgará aflorantes en el sector centro-occidental del Macizo de Santander, en la franja Berlín se estudiaron mediante trabajo de campo y microscopía óptica de luz transmitida. Los Esquistos del Silgará en la franja Berlín ocurren como una secuencia de rocas pelíticas consistentes en esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate, esquistos muscovítico-cuarzosos con o sin granate, semipelíticas compuestas por cuarcitas con o sin granate y psamitas compuestas por cuarcitas. Estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de grado intermedio, que alcanzó temperaturas máximas de hasta 600°C, indicando la parte baja de la zona de la andalucita de la facies anfibolita, otras paragénesis definidas indican la zona de la biotita y granate de la facies esquistos verdes. También se identifica un metamorfismo dinámico sobreimpuesto, asociado a las fallas satélites que afectan a las rocas a diferentes niveles estructurales.

Los Esquistos del Silgará en la franja Berlín del Macizo de Santander presentan diferencias relacionadas con el grado de metamorfismo y la litología con respecto a las otras franjas que conforman los Esquistos del Silgará, es decir que esta unidad litológica es más heterogénea de lo planteado hasta ahora, siendo necesario estudios geocronológicos y geoquímicos que permitan determinar la edad y los ambientes de formación de los protolitos en el contexto de los Andes del Norte.

* Trabajo de grado

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

ABSTRACT

TITLE: PETROGRAPHY FROM SILGARÁ SCHISTS IN THE FIELD BERLÍN (MASSIF SANTANDER).*

AUTHOR: Andrea Katherine Fernández Rojas.**

KEYWORDS: Silgará Schists, Santander Massif, fringe Berlín.

DESCRIPTION: The schists of Silgara that crops out in the central-western region of the Santander Massif, in the fringe Berlin are were studied by field work and transmitted light optical microscopy. The Silgará schists in the fringe Berlin are a sequence of pelitic rocks composed by quartz-muscovite schists whit or whitout garnet, muscovite-quartz shists whit or whitout garnet, semipelitic rocks constituted for quartzites whit or whitout garnet and psamitic rocks constituted for quartzites. This rocks were affected by a intermediate grade regional metamorphism that reached maximum temperatures by 600°C, which are indication the low part from analusite zone, Amphibolite facies, other assemblages defined corresponds to the biotite and granet zones of greenschist facies. Also we identified a overprinting dynamic metamorphism related whit local faults that affect to the rocks in a different structural levels.

The Silgará schists in the fringe Berlín of the Santander Massif present differences in the metamorphism grade and the litology With respect to the other fringe that make up the schists of silgara, this explain that the Silgará shist are litologic unit more heterogeneous than considered so far, being necessary geochronological and geochemical studies to determine the age and environment of formation of the protoliths in the context of the Northerm Andes.

* Degree Work.

** Faculty of Physics-Chemistry Engineering. School of Geology. Director: PhD. Carlos Alberto García Ramírez

INTRODUCCION

La unidad litodémica Esquistos del Silgará aflorante en el Macizo de Santander, flanco Este de la Cordillera Oriental, ha sido el objeto de estudio del presente trabajo de investigación, en el que se realizaron estudios de campo y petrográficos en la franja de Berlín, donde se identificaron rocas metamórficas pelíticas, semipelíticas y psamitas, las cuales están compuestas por esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate, esquistos muscovíticos-cuarzosos con o sin granate y cuarcitas con o sin granate. Los resultados de los análisis petrográficos indican un metamorfismo de grado intermedio y evidencias de un metamorfismo dinámico.

El proyecto de investigación 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, Universidad Nacional y COLCIENCIAS.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar las rocas de los Esquistos del Silgará para conocer sus condiciones de metamorfismo y las características del protolito.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los litotipos que constituyen los Esquistos del Silgará.
- Establecer las condiciones Presión – Temperatura (P, T) de los Esquistos del Silgará.
- Identificar las características composicionales del protolito de los Esquistos del Silgará.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

La zona del presente estudio se localiza en el departamento de Santander, en el municipio de Tona, corregimiento de Berlín, hacia la parte oriental del Macizo de Santander, (*Fig. 1*). Se encuentra limitada por las coordenadas topográficas:

X1: 1.281.000 X2: 1.290.000

Y1: 1.128.000 Y2: 1.135.000

Dentro las planchas, plancha 110 Pamplona y Pamplona H13 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X: 1.000.000; Y: 1.000.000 de Santafé de Bogotá.

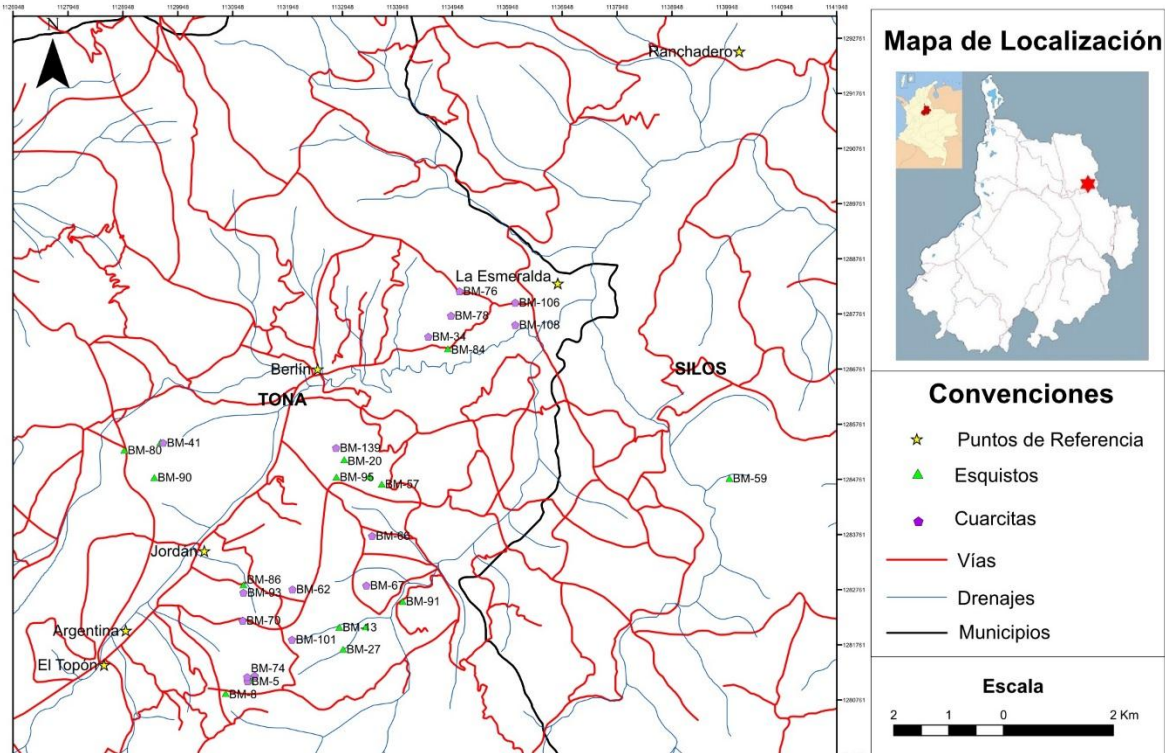
Las coordenadas geográficas correspondientes al área de estudio son:

7 7 33.752767 N 7 13 20.26619 N

72 51 17.8884 W 72 55 36.3764 W

El acceso a la zona de estudio se realiza por la vía principal, la carretera de Bucaramanga conduce a Berlín, recorriendo el área de trabajo, pasando por el Topón, Argentina, Jordán hasta llegar a Berlín y siguiendo hasta la Esmeralda cubriendo la zona de trabajo del presente proyecto de investigación.

Figura 1. Localización del área de estudio. Extremo derecho mapa de Colombia-Santander y Santander-Tona. Municipio de Tona resaltado en color rojo, zona de estudio (Berlín). Modificado de Ward et al. (1970).



2.2 CLIMA Y ALTURA

Berlín nos muestra un comportamiento Bimodal con dos temporadas de lluvia en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre, y ubicándose en promedio los meses de enero 12.1 mm y diciembre 21,7 mm como los más secos; Berlín es considerado como un páramo seco con 720.55 mm anuales para el periodo 1979 – 1999.

La temperatura guarda un comportamiento estable durante el año, con un promedio anual 8,7° C para el periodo 1979 – 1999 manifestándose como los más fríos en promedio los meses enero 8.4° C; julio 8,2° C y la mayor temperatura en mayo 9,1° C.

El corregimiento de Berlín se encuentra entre 3000 y 4300 metros sobre el nivel del mar.

2.3 HIDROGRAFIA

El balance hídrico de la estación de Berlín en la zona de influencia nos muestra entre los meses de abril – noviembre un excedente de humedad en el suelo y meses con déficit los ubicados entre diciembre y marzo; la humedad relativa es alta con un promedio 85%; la evaporación oscila entre 81.8 y 114 mm a lo largo del año presentando el brillo solar una tendencia hacia valores bajos con un promedio de 1753 horas anuales en promedio (INGETEC S.A – ETA S.A, 1997).

3. METODOS

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realiza en las etapas descritas a continuación.

3.1 ETAPA PRE-CAMPO

En esta etapa de pre-campo se realiza una búsqueda exhaustiva de literatura relacionada con los Esquistos del Silgara siendo esta la base del trabajo, para la recopilación de esta información se acude a la base de datos de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, recurriendo a publicaciones geológicas especializadas como revistas científicas, libros, trabajos de grado. Igualmente se consulta el material cartográfico existente (mapas geológicos, temáticos y topográficos, así como imágenes satelitales entre otros). De igual forma se consultan diferentes publicaciones en la web.

3.2 ETAPA DE CAMPO

La fase de campo se inicia con el reconocimiento de afloramientos de interés en el área de estudio, con base en el material geológico recolectado por estudiantes de la Escuela de Geología, quienes desarrollaron previamente trabajos de campo. De esta manera se define la zona de mayor interés para desarrollar el proyecto de grado. La unidad litodémica Esquistos del Silgará aflorante en el Macizo de Santander, flanco Este de la cordillera Oriental, en cada afloramiento se recolectan muestras para su análisis petrográfico, tomándose fotografías de los sitios de muestreo y documentándose detalladamente el material recolectado.

3.3 ETAPA DE LABORATORIO

3.3.1 Preparación de secciones delgadas pulidas. Esta etapa principia con la preparación del material geológico previamente recolectado en trabajos de campo desarrollados por estudiantes de Geología, se realiza el lavado de las muestras recolectadas y se seleccionan 26 muestras debido a su interés textural y composicional para la elaboración de 22 secciones delgadas y 4 secciones delgadas pulidas, las secciones delgadas fueron usadas en el análisis petrográfico. (*Tabla 1*)

3.3.2 Análisis petrográfico. Durante esta fase se realizan las descripciones macroscópicas de 48 muestras colectadas en campo usando estereomicroscopios Carl Zeiss en el laboratorio de Estereomicroscopía de la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, también se elaboran descripciones microscopias de 26 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 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 (BGS) en 1999; al tener los tipos de rocas metamórficas se determinaron los nombres de cada una de estas según los parámetros establecidos por la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas (SCMR) en el 2004. Para las descripciones de las rocas se especificó la composición mineralógica, asociaciones, paragénesis minerales (usando las abreviaturas propuestas por la SCMR en el 2007, *tabla 2*) y algunas características sobresalientes.

Tabla 1. Listado de muestras y análisis realizados

Muestra	Análisis macroscópico	Petrografía de luz transmitida
BM-5	X	x
BM-8	X	x
BM-13	X	x
BM-19	X	
BM-20	X	x
BM-24	X	x
BM-27	X	x
BM-28	X	x
BM-29	X	x
BM-34	X	x
BM-41	X	
BM-46	X	x
BM-54	X	x
BM-57	X	x
BM-59	X	
BM-62	X	
BM-66	X	
BM-67	X	x
BM-69	X	
BM-70	X	x
BM-73	X	
BM-74	X	x
BM-76	X	x
BM-78	X	x
BM-80	X	x
BM-81	X	
BM-83	X	x
BM-84	X	x
BM-86	X	x
BM-90	X	
BM-91	X	
BM-93	X	x
BM-95	X	x
BM-101	X	x
BM-106	X	x
BM-108	X	
BM-139	X	x

Tabla 2. Abreviaturas minerales usadas

And	Andalucita	Mag	Magnetita
Bt	Biotita	Mca	Mica
Kln	Caolinita	Op	Minerales
Chl	Clorita	Opacos	
Qtz	Cuarzo	Ms	Muscovita
Ep	Epidota	Pl	Plagioclasa
Fsp	Feldespato	Rt	Rutilo
Kfs	Feldespato	Ser	Sericita
Pótasio		Tur	Turmalina
Gr	Grafito	Zrn	Zircón
Grt	Granate		

Tomado SCMR, 2007.

3.4 ETAPA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Durante esta fase se llevó a cabo la interpretación de los resultados obtenidos en la etapa de campo y laboratorio con el fin de estimar cualitativamente los diferentes litotipos y condiciones de presión-temperatura a las que fueron sometidos los Esquistos del Silgará en el área de estudio.

3.5 ETAPA DE REDACCIÓN DEL INFORME FINAL

Durante esta fase se realiza el informe final del estudio realizado, con los resultados obtenidos, así como algunas recomendaciones para el desarrollo de futuros estudios. Para una mejor organización del presente estudio se presentan las variedades litológicas de acuerdo con la nomenclatura de la subcomisión en

Sistemática de Rocas Metamórficas, 2004 (SCMR), de la unión Internacional de Geociencias.

4. ANTECEDENTES

Los estudios sobre las diferentes franjas de la Formación Silgará han sido realizados por varios autores, a continuación se presentan una síntesis de algunas de las referencias que han contribuido a en este proceso descriptivo.

4.1 ESTUDIOS PETROGRAFICOS

WARD et al. (1973) en la franja Pescadero – Aratoca las rocas que se encuentran son Pizarras, filitas, meta-limolita, cuarcita de grano fino, de color verde oscuro, gris verdoso y gris. Estudios posteriores han permitido establecer su composición litológica que puede dividirse en una unidad basal de cuarcitas con algunas intercalaciones de esquistos biotíticos y lentes de anfibolita; y una unidad superior constituida principalmente por esquistos, filitas y metalimolitas. (Mantilla et al, 2002).

CAMPOS N. et al. (1998). Realizan un estudio mineralógico y petrográfico de las metamorfitas al occidente de Mutiscua pertenecientes a la Formación Silgará intruidas por el Ortoneis las cuales fueron metamorfoseadas en condiciones de la facie anfibolita y las rocas de la unidad Ortoneis en las subfacies estauroлита-distena y silimanita-almandina-ortoclasa de la facie anfibolita. Establecieron las siguientes variedades litológicas: en la Formación Silgará, esquisto cuarzo feldespático, esquisto micaceo cuarzoso, esquisto feldespático micaceo curzoso, esquisto feldespático micaceo, esquisto micaceo, cuarcita feldespática, cuarcita micacea feldespática, cuarcita micacea con andalucita, cuarcita muscovítica con biotita, cuarcita feldespática micacea, cuarcita bifeldespática con clinozoicita y mármol.

CASTELLANOS O. et al. (1999) Realizan un estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca donde consta de una interestratificación de cuarcitas, esquistos cuarzo – feldespáticos, esquistos cuarzo – micáceos, cuarcitas micáceo – feldespáticas, cuarcitas feldespático – micáceas y esquistos micáceo – cuarzosos. Mediante petrografía y geoquímica identificaron minerales metamórficos como cuarzo, plagioclasa, microclina, biotita, moscovita, clorita, hornblenda, clinozoisita, granate, estaurolita, sillimanita, andalucita y cloritide; químicamente se determinó dentro de los esquistos un grupo de afinidad félsica y otro de afinidad máfica, y para las cuarcitas solo se identificó afinidad félsica. La secuencia del área desarrolló un metamorfismo de carácter zonal que comprende desde la subfacie almáquina de facies Esquistos Verdes hasta la subfacie sillimanita-almándina-ortoclasa de las facies anfibolita.

BARRAGÁN y MONTENEGRO. (1999) realizan una caracterización y evolución del metamorfismo en el área comprendida entre los municipios de Vetas y Mutiscua caracterizada por poner en contacto rocas de la Formación Neis de Bucaramanga de la subfacie sillimanita-almándina-ortoclasa con rocas de condiciones intermedias de la subfacie estaurolita-cianita y cordierita-andalucita de las rocas del Ortoneis y la Formación Silgará respectivamente. En las rocas del Neis de Bucaramanga, se identificó la paragénesis Qtz – Pl – Or – Bt y Qtz – Gr – Hbl – Pl. En los esquistos de la Formación Silgará, se identificaron las paragénesis Qtz – Pl – Bt y Bt₂ – Sil – Ms. La presencia de una lineación L_{SO}, se reconoce por los minerales precinemáticos que fueron rotados por un proceso de deformación D_{s1} (primera deformación del Silgará), que desarrolló una superficie de esquistosidad S_{s1}, definida por la orientación preferencial de la biotita, posteriormente hay una recristalización de sillimanita.

GELVEZ J. et al. (2002). Realizan una caracterización del granate y de sus elementos de deformación asociados, y modelamiento de su historia de nucleación y crecimiento en rocas pelíticas de la Formación Silgará en la región

Suroccidental del Macizo de Santander, estas rocas definen una zonación metamórfica de biotita, granate, granate-estaurolita y estaurolita cianita.

MANTILLA L. et al. (2002) Estudio las cloritas en las rocas metamórficas de la Formación Silgará que afloran en la región suroccidental del Macizo de Santander (Cañón del Chicamocha) registran temperaturas de formación entre 180 y 355°C. Las máximas temperaturas de formación de esta fase mineral hidratada (hasta 355°C) corresponden a la zona de mayor grado de metamorfismo (estaurolita-distena), mientras que en las zonas de la biotita y el granate (parte superior), estas temperaturas varían en promedio entre 180 y 270°C. La presencia de cloritas en las rocas metamórficas del Silgará se interpreta como el resultado de un extenso metamorfismo retrogrado, el cual se vio favorecido por la creciente disponibilidad de agua durante la historia de exhumación de la roca.

MANTILLA L. et al. (2003) Realizaron un estudio en la franja Pescadero-Aratoca dónde a partir del análisis de bandas de cizallamiento se tiene en cuenta que las condiciones máximas de presión para el pico metamórfico de la Formación Silgará en el sector de estudio fue de 678°C a 6.2 Kbar (Ríos, 1999), es decir, cuando la roca estaba a una profundidad de 23-24 Km (hoy en día está en la superficie).

CASTELLANOS O. et al. (2004) realizan un estudio en el sector central del Macizo de Santander respecto a la zonación del granate, el granate químicamente sectorizado indica que este creció en la etapa tardía de metamorfismo de la Formación Silgará, durante el emplazamiento de masas de ortoneis. Estudios sobre el granate en las rocas pelíticas de la Formación Silgará han mostrado su importancia como pieza clave en la interpretación de la historia tectonometamórfica de esta unidad metamórfica.

ARENAS J. (2004) realizo un estudio en el área de San José de Mutiscua, agrupo por el espectro composicional y textural de las metamorfitas de la Formación

Silgará en la franja noroeste en tres grupos, Metamorfitas carbonatadas, Metamorfitas calcosilicatadas y asociadas, y Metamorfitas pelíticas y asociadas. Estas metamorfitas Manifiestan metamorfismo dinamotermal de presión intermedia desde la parte superior de las facies epidota-anfibolita a la parte inferior de la facies anfibolita alta, el metamorfismo en esta área ocurrió a temperaturas entre 500°C y 650°C, y a presiones superiores a 4.1 Kbar y 7.2 Kbar en las rocas de la facies epidota-anfibolita y facies anfibolita alta. Se pudo inferir una trayectoria metamórfica horaria típica de fenómenos de espesamiento cortical y posterior relajación termal propia de procesos orogénicos característicos de márgenes continentales activas.

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

RÍOS C. et al. (2008) estudio las rocas metacarbonatadas en el área central del Macizo de Santander forman un grupo muy complejo dentro de la secuencia metamórfica de la Formación Silgará. Estas rocas son interpretadas como derivadas de una secuencia sedimentaria (incluyendo calizas y dolomías, lodolitas con presencia de carbonatos, areniscas, sedimentos tobáceos y evaporíticos y margas) afectada por metamorfismo regional casi isoquímico.

RÍOS C. et al. (2010) realiza un estudio de las rocas metamórficas de la Formación Silgará del Paleozoico Inferior del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia), fueron afectadas por un metamorfismo tipo Barroviano bajo condiciones de temperatura baja a alta y presión intermedia. Estas rocas

contienen porfidoblastos de granate, los cuales muestran varios tipos de patrones de zonación química.

NIÑO D. (2012) realiza un estudio a partir del análisis macroscópico y microscópico de las 118 muestras macro y 47 secciones delgadas de las rocas pertenecientes a la Formación Silgará en el sector Sardinata-Ábrego-Hacarí en la región norte del Macizo de Santander donde identifico 15 litotipos pertenecientes a la FS que corresponden a pizarras, pizarras grafitosas, pizarras grafitosas con andalucita, filitas, esquistos sillimaníticos con granate, esquistos micáceos, esquistos micáceos con cordierita y andalucita, esquistos muscovíticos con turmalina y andalucita, cuarcitas, cuarcitas micáceas, meta-areniscas, meta.conglomerados, meta-wacas y meta-gabro. Esta secuencia fue afectada por un metamorfismo regional barroviense de grado bajo a medio, de la facie esquistos verdes y facie anfibolita. Las condiciones P-T a las que pudo estar expuesta la secuencia de la FS están en un rango aproximado entre los 300 a 700°C de T y a los 4 a 8 Kbar de P según la red petrogenética para pelitas de Spear (1993).

AMAYA S. (2012) realiza un estudio petrográfico de los Neises, Migmatitas y Granulitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, determina que los leucosomas de Berlín, es el producto de la fusión de una fuente rica en feldespatos en presencia de fluidos, y otros leucosomas del mismo sector de Berlín se sugieren que la inyección de fundidos proviene de alguna fusión parcial generada a partir de la biotita; para los leucosomas de la zona de Abrego-Ocaña fueron generados por la fusión de una fuente rica en feldespatos en presencia de fluidos y los leucosomas de Mogotes-San Joaquín, ambos fueron generados por la fusión de una fuente rica en feldespatos en presencia de fluidos. el origen más probable de las migmatitas de altas temperaturas del Neis de Bucaramanga está relacionado con procesos orogénicos caracterizados por trayectorias de P-T en

sentido horario que implico un calentamiento casi isobárico, seguido de una descompresión.

PINTO L. (2014) realiza un estudio petrográfico y mineralógico en la franja de Mutiscua y Pescadero-Aratoca donde se hallan rocas correspondientes a metareniscas, esquistos biotíticos, esquistos granatíferos, cuarcitas, granofelsas, esquistos anfibólicos para la zona de Pescadero-Aratoca y granofelsas calcosilicatadas, mármoles en la zona de mutiscua. Las paragénesis en la franja Pescadero-Aratoca indican facies de esquistos verdes a facies anfibolita y para Mutiscua facies anfibolita.

Rueda, L., Villamizar, D. (2014) estudian las rocas de los Esquistos del Silgará en la franja Matanza-Cachirí-Turbay definiendo rocas pelíticas como esquistos cuarzo-muscovíticos con y sin granate en rocas semipelíticas como esquistos muscovíticos cuarzosos y metawacas. Presentan algunos datos de química mineral para el granate, biotita, clorita y muscovita. Las paragénesis minerales definidas indican que estas rocas alcanzaron la parte baja de la zona del granate en las facies esquistos verdes.

4.2 ESTUDIOS GEOQUIMICOS

GOLDSMITH et al. (1971) realizan un extensivo trabajo radiométrico con el objetivo de definir algunas características geocronológicas de las rocas del Macizo de Santander. Este trabajo incluye determinaciones Rb/Sr en un gneis biotítico del Gneis de Bucaramanga (680 ± 140 Ma), y en un gneis granítico del Ortogneis (450 ± 80 Ma); así como edades K/Ar en un gneis horbléndico del Gneis de Bucaramanga (945 ± 40 Ma en Hbl); en una filita de la Formación Silgará (221 ± 8 Ma roca total).

ABREGO. Rodrigo y ARIAS Alonso (1978) realizan una cartografía escala 1:100.000 en el departamento de Norte de Santander y Santander al Nor-noroeste de la ciudad de Bucaramanga en el área Abrego, definiendo en su mayor parte rocas metamórficas de las formaciones Bucaramanga y Silgará. Adicional a esto, realizaron, un muestreo geoquímico regional y un estudio petrográfico en 520 secciones delgadas. En esta área, la Formación Silgará está compuesta por filitas, esquistos micáceos, cuarcitas micáceas y neises cuacitico-micáceos, en menor proporción se encuentran pizarras carbonosas, esquistos cuarzo-sericíticos, metaconglomerados y metaliditas. En lo referente al origen de la Formación Silgará las muestras analizadas indican que provienen de sedimentos pelíticos, semipelíticos y arenáceos sometidos a metamorfismo regional de bajo grado, facies esquistos verdes de acuerdo con Winkler (1967).

SHAFER. J. et al. (1998) realizan estudios petrográficos y geoquímicos en rocas anfibolíticas de la Formación Silgará en la franja Pescadero-Aratoca... Las rocas fueron altamente metamorfoseadas a condiciones de facies anfibolita de presiones medias siendo la horblenda y la plagioclasa los minerales más comunes constituyendo un 75% en las rocas. De acuerdo con la relación de campo de la Formación Silgará con las rocas intrusivas y sedimentarias del área, estos autores definen la edad como Proterozoica.

GARCÍA C. et al. (2000) realizaron estudios mineralógicos, petrográficos y geoquímicos para determinar la composición y mineralogía de las biotitas en el sector central del Macizo de Santander, en las formaciones Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis donde las biotitas metamórficas corresponden a la serie eastonita-siderofilita y annita. El color de las biotitas en metapelitas se podría usar para distinguir variaciones en el grado de metamorfismo de la roca huésped.

4.3 ESTUDIOS TERMOBAROMETRÍA Y TRAYECTORIAS P-T

RODRÍGUEZ, et al. (1997) registran la primera aparición de anfibolitas dentro de las rocas pre-Devónicas de la Formación Silgará. Estas anfibolitas se encontraron como laminas intercaladas dentro de la Formación Silgará en la sección baja-media de la secuencia. A partir de estudios petrográficos, geoquímicos y geotermobarométricos en 11 ejemplos de anfibolitas de un área cercana la Cañón del Chicamocha, indican que estas anfibolitas son de origen magmático y fueron rocas básicas magmáticas formadas en un ambiente de intraplaca. Las relaciones de campo de las anfibolitas muestran claramente que son más antiguas que el Devónico medio y fueron metamorfoseadas hasta condiciones de presión media de la facie anfibolita.

RÍOS C. & GARCÍA C. (2001) Y RÍOS C. et al. (2003) estudian la Formación Silgará en el sector meridional del Macizo de Santander. Estos autores se enfocan en la evolución metamórfica y reconstrucción estructural de la Formación Silgará a través de estudios petrográficos, reacciones metamórficas, química mineral y geotermobarometría. Definen mineralógicamente las zonas metamórficas de biotita, granete, estaurolita y silimanita, indicando metamorfismo de facies de esquistos verde, epidota-anfibolita y anfibolita, así como definir una historia metamórfica con trayectoria horaria, presiones entre 4.4 y 7.2 Kbar, y temperaturas entre 495 y 700°C.

GARCÍA C. et al. (2001) Reportan por primera vez la ocurrencia de cianita y andalusita, junto con silimanita fibrolítica en la misma roca aunque la sillimanita no está en equilibrio con andalusita y cianita. La coexistencia de andalusita+cianita puede interpretarse como relictos de las condiciones pre-pico de metamorfismo, preservando evidencia textural del metamorfismo a lo largo de la trayectoria P-T propuesta por García y Rios (1999) para el Macizo de Santander; la formación de la silimanita fibrolítica en este caso podría ocurrir a través de una reacción química

que ha involucrado la descomposición de granate y biotita y, por lo tanto, el proceso de fibrolitización no debe considerarse como una transformación polimórfica.

GUTIERREZ C. (2001). Realizan una petrografía y mineralogía de la Formación Silgará y el Ortoneis en el área de Pamplona (Norte de Santander). La Formación Silgará consiste de esquistos pelíticos cuarzomícáceos, y cuarzosos y esquistos semipelíticos, con paragénesis principal $Ms+Sill+Bt+Grt+Qtz$. Determinó las condiciones de metamorfismo por geotermobarometría que refleja un aumento progresivo de las condiciones de P-T. microestructuralmente observan dos eventos deformacionales principales los dos primeros de tipo dinámico y el tercero de tipo estático. Establecen el protolito de la Formación Silgará como rocas argiláceas que dieron lugar a metapelitas y rocas arcósicas que a su vez dieron lugar a esquistos semipelíticos con composiciones cuarzofeldespáticas. Concluyen que el metamorfismo que afectó esta zona es de tipo orogénico de colisión donde se alcanzaron las condiciones de facies anfibolita.

RÍOS C. et al. (2002) realizó una investigación sobre la evolución tectonometamórfica de la Formación Silgará en el suroccidente del Macizo de Santander reportan que la formación fue afectada por un metamorfismo regional caledoniano, el cual ha desarrollado una secuencia de zonas metamórficas (sillimanita, estaurolita, granate y biotita). Las condiciones P-T (495-518°C y 4.4-5.5 Kbar de la zona del granate; 590-612°C y 6.6-7.5 Kbar de la zona de la estaurolita; 660-700°C y 5.5-7.2 Kbar de la zona de silimanita) fueron estimadas a partir de diferentes termómetros y barómetros.

RÍOS C., GARCÍA C. y TAKASU A. (2003). Analizan la evolución tectonometamórfica de la Formación Silgará al suroeste del Macizo de Santander mediante petrografía y química de las rocas, además de la ayuda de estudios termobarométricos; que conllevan a la conclusión de que la trayectoria de P-T de

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

GARCÍA C. et al (2005). Examinan las paragénesis minerales, reacciones metamórficas y condiciones de P-T de las rocas metamórficas de la región Central del Macizo de Santander. Concluyendo que el metamorfismo ocurrió bajo condiciones de alta temperatura y presión intermedia (Metamorfismo tipo Barroviano), con el desarrollo de tres zonas metamórficas: estauroлита-cianita, silimanita y migmatita; Las condiciones de presión y temperatura estimadas están en el rango de 5.0-9.5 kbar y 630-727°C y la trayectoria de P-T sugirió un modelo de colisión para esta región.

CAVIEDES M. et al. (2006). Realizan una petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará al occidente de Mutiscua donde a partir de microtermometría establecen cuatro eventos hidrotermales. Determinan que el proceso que favoreció la formación de cianita en las venas de cuarzo fue un metamorfismo dinámico térmico generados por la mezcla de minerales de flujo hidrotermal con minerales de la roca encajante.

CASTELLANOS O. et al. (2008) realizan un estudio de las trayectorias P-T de metamorfismo del sector central del Macizo de Santander, la secuencia pre-Devónica de la Formación Silgará forma parte del antiguo basamento que aflora en esta área. Esta secuencia ha sido afectada por un metamorfismo tipo Barroviense en condiciones de presión intermedia/ temperatura alta. Las paragénesis minerales y los cálculos geotermobarométricos indican temperaturas y presiones metamórficas de 400-600°C y 4.0-6.5 Kbar, respectivamente.

El análisis del estado del arte permite establecer que existen estudios petrográficos, geoquímicos y de química mineral de las rocas que conforman los Esquistos del Silgará en las franjas Sardinata-Abrego, Pamplona, Mutiscua, Matanza-Cachiri, Pescadero-Aratoca, Con base en estos estudios, se han determinado los litotipos, los ambientes de formación, las condiciones P-T del metamorfismo y en algunos casos la trayectoria P-T. Sin embargo, en los sectores de Berlin y Silos son escasos los estudios detallados en los Esquistos del Silgará.

5. MARCO GEOLÓGICO

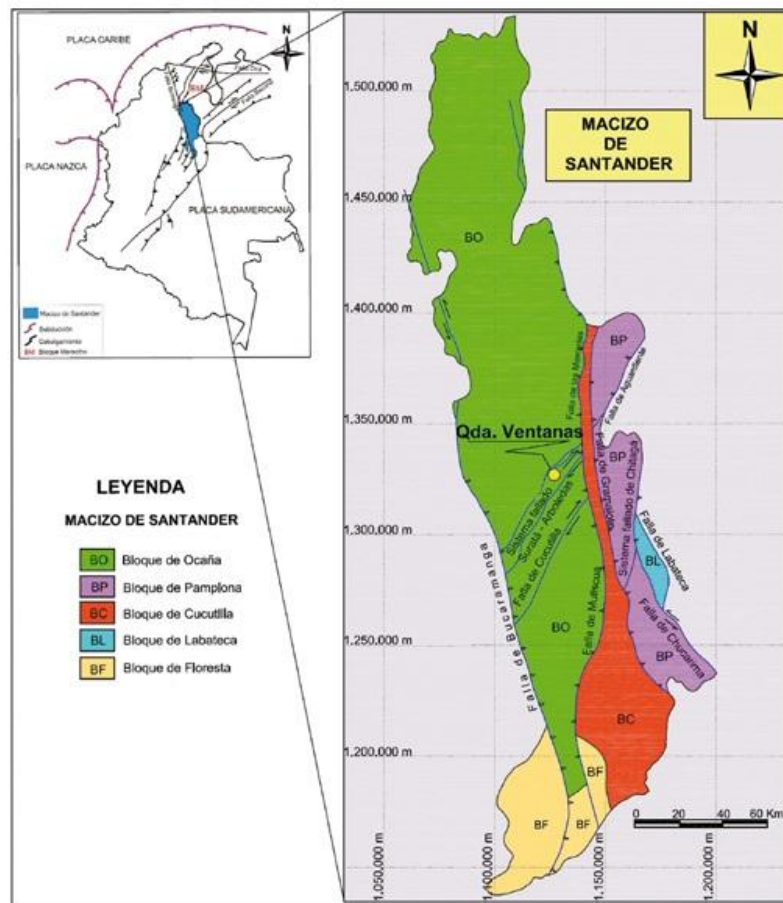
5.1 REGIONAL

El Macizo de Santander (*Fig. 2*), donde se localiza el área de estudio, está constituido por rocas metamórficas de edad Precámbrica a Paleozoica, cortadas por cuerpos intrusivos del Triásico y Jurásico (Goldsmith, 1971). Las rocas metamórficas de este basamento han sido divididas en tres unidades que de abajo hacia arriba son Neis de Bucaramanga, Esquistos de Silgará y Ortoneis. El basamento del Macizo de Santander está cubierto discordantemente por rocas con metamorfismo de bajo grado de la unidad Metasedimentitas de Guaca – La Virgen (anteriormente conocida como Formación Floresta Metamorfoseada), por sedimentos clásticos del Devónico Inferior (Formación Tíbet) y por sedimentos calcáreos y clásticos del Carbonífero y Pérmico (Formación Diamante y Paleozoico del río Nevado).

Las rocas más antiguas del Macizo de Santander, están representadas por las formaciones metamórficas: a) Neis de Bucaramanga, de edad Precámbrico, (Restrepo *et al.*, 1997; Cordani *et al.*, 2005), la cual alcanzó condiciones metamórficas de la facies anfibolita durante la orogenia Grenviliana; b) Esquistos del Silgara, considerada de edad Precámbrica en cuanto a su protolito, pero de edad Ordovícica en cuanto al metamorfismo, la cual debió alcanzar condiciones de las facies esquistos verdes o facies anfibolita baja, según sectores concretos (Ward *et al.*, 1973; García y Ríos, 1999; Castellanos *et al.*, 2004); asimismo, para esta unidad se reporta la presencia de algunas bandas de cizallamiento, con las cuales se relaciona una importante profusión de venas hidrotermales paralelas a la foliación regional y procesos de disolución tectónica de minerales del pico de metamorfismo (Mantilla *et al.* 2003); c) Ortoneis, considerada de edad Devónico Inferior a Ordovícico, el cual intruye a la Formación Silgará y tiene una

composición granítica a tonalita y diorita (Ward *et al.*, 1973; Restrepo, 1995; Royero y Clavijo, 2001). Estas rocas metamórficas, localmente se encuentran suprayacidas por rocas sedimentarias fundamentalmente de edad Paleozoico Superior, tales como la Formación Floresta y el Grupo Surata (Formaciones Diamante, Tiburón y Bocas). Otras secuencias de rocas sedimentarias de edad Jurásico de origen continental (Formaciones Jordan y Girón) y Cretácicas de origen Marino, afloran en sectores concretos del Macizo de Santander. Una secuencia de rocas formadas a partir de depósitos de ambiente continental de edad Terciaria-Cuaternaria, culminan el registro sedimentario reconocido en éste Macizo (Ward *et al.*, 1973, Clavijo y Royero, 2001).

Figura 2. Esquema tectónico del Macizo de Santander.



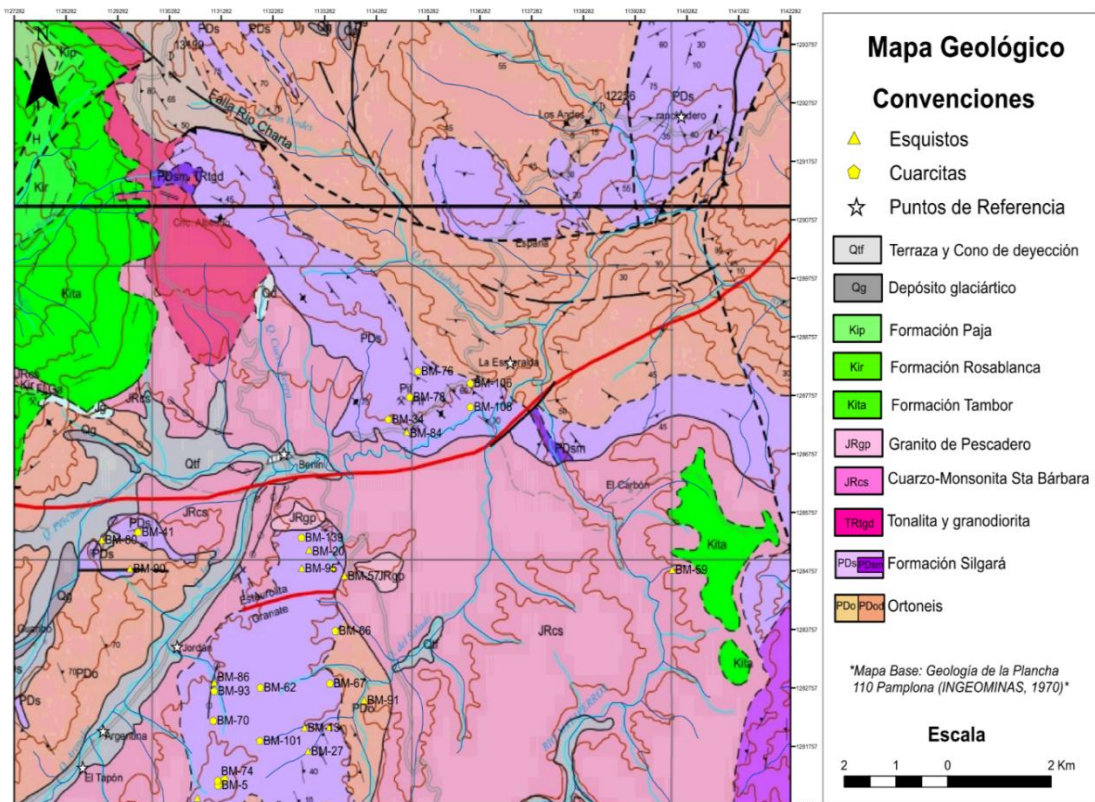
Basado en Clavijo *et al.* (1993) y Clavijo (1994).

5.2 LOCAL

La geología del área de estudio cuenta con formaciones geológicas correspondientes a rocas ígneas, rocas metamórficas de alto y bajo grado, las cuales constituyen la Formación Silgará y el Ortoneis. De igual manera ocurren rocas sedimentarias, que conforman la Formación Tambor. La zona es afectada por eventos tectónicos evidenciados por sistemas de fallas, grandes deformaciones y el metamorfismo regional de las rocas.

Las formaciones mencionadas se han visualizado teniendo en cuenta que a medida que se asciende estratigráficamente surge la secuencia: Ortoneis, Formación Silgará, Rocas Igneas, Formación Tambor.

Figura 3. Mapa geológico del área de estudio.



Modificado de Ward et al. (1970).

Para definir las unidades aflorantes, se cita a los autores Ward et al, (1973); Campos, (1998), entre otros.

5.2.1 Ortoneis. Según Ward et al, (1973), el Neis cuarzo feldespático desde granito a tonalita, está ampliamente distribuido en las rocas metamórficas de alto y medio grado de metamorfismo de edad pre-Devónico que forman el núcleo del macizo.

El aspecto masivo de estas rocas, la falta general de estratificación, excepto en escala total, la presencia de inclusiones endógenas y el hecho de que las composiciones correspondan a rocas magmáticas han conducido al uso del nombre para estas rocas, y la comparación de estas características con las rocas halladas en el campo evidencian que corresponde a esta unidad.

La paragénesis mineral y el grado de recristalización concuerdan en modo considerable con el grado de metamorfismo de las rocas adyacentes. La mayor parte del Ortoneis es bien pre- o sin- metamórfico o ambos a la vez. Algunas rocas cartografiadas como Ortoneis pueden ser en algunos sitios intrusivas, más jóvenes, cizalladas.

5.2.2 Formación Silgará. Es una secuencia de rocas clásticas metamórficas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas que consta de variedades de cuarcitas y esquistos más o menos intercalados aumentando, transicionalmente, el contenido de esquistos de base a techo; siendo los esquistos litológicamente dominantes hacia el tope, conteniendo además intercalaciones de mármol; que en algunas ocasiones tienen delgadísimas capas de cuarcita. En ocasiones, se observan cuerpos pegmatíticos de afinidad granítica, emplazados de manera concordante o discordante con la dirección de foliación; al igual que venas de cuarzo generalmente concordantes con la foliación y que, en algunos casos, en contacto con esquistos micáceos, tienen mineralizaciones de cianita.

El contacto con la unidad Ortoneis se encuentra bien expuesto paralelamente a la margen occidental de la quebrada la Isadora, en los alrededores de la Reforma, al occidente del morro Ventanas, sobre el camino que conduce de Sucre a los Salados en cercanías de las Lajas y en cercanías de la Laguna Colorada en el Pico de Relumbrante.

Litológicamente, hacia la base de la unidad se encuentra una secuencia de cuarcitas de aproximadamente unos 300 metros de potencia, con menores intercalaciones de esquistos, la cual forma un escarpe pronunciado y característico. De base a techo esta secuencia consta de cuarcitas de color blanco a crema claro, de estructura masiva a esquistosidad grosera, compuesta principalmente de cuarzo, muscovita y granate. Ascendiendo estratigráficamente, los niveles de cuarcita se encuentran intercalados con niveles delgados de esquistos con grafito y esquisto con muscovita, biotita, granate y estaurolita en porfidoblastos que alcanzan hasta 3 centímetros de largo.

Los esquistos son rocas de color gris a gris verdoso, con tonalidades pardo rojizas a pardo amarillentas por la meteorización, presentan una estructura esquistosa bien desarrollada o slaty cleavage, están compuestos principalmente por cuarzo, plagioclasa, muscovita, biotita y estaurolita y granate en cantidades variables así como silimanita en algunas ocasiones. Las intercalaciones de cuarcita se presentan como bandas de poco espesor, de color gris verdoso, con estructura bandeada o slaty cleavage grosero, compuestas principalmente de cuarzo, muscovita, biotita, plagioclasa y granate. (Campos, 1998).

Estudios realizados en la Formación Silgará en el año 1997 y tomando como base estudios geoquímicos y geotermobarométricos en las anfibolitas en el área de Pescadero-Aratoca, se obtienen datos geocronológicos, llegando a la conclusión que para esta Formación se asumen edades precámbricas, afectada por

sobreimposición de eventos metamórficos y procesos de exhumación durante el silúrico. (Schäfer; Gröser; y Rodríguez, 1998).

5.2.3 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara. La cuarzomonzonita de Santa Bárbara conforma el Batolito de Santa Bárbara, Grupo Plutónico de Santander; aflora al oriente del departamento de Santander, se asume una edad de Triásico Superior-Jurásico inferior (Ward, et al. 1973). La cuarzomonzonita es de color rosado, rosado naranja a gris violáceo, de grano medio a grueso, compuesta por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita; excluyendo a la biotita, generalmente el feldespato potásico es ligeramente más abundante que la plagioclasa.

5.2.4 Granito de Pescadero. Se caracteriza por presentar color rosado grisáceo predominantemente. De textura fanerítica equigranular de grano medio. Su composición es principalmente cuarzo, plagioclasa y ortoclasa, con algunas apariciones de biotita y muscovita. Aflora sobre la carretera que conduce al Topón, a la altura del Cerro el Encenillo. Se considera una variedad del Batolito de Mogotes dada su similitud con este. Se reconocen dos masas en forma de plug del Granito de Pescadero hacia el sur de Berlín cortando la cuarzomonzonita de Santa Bárbara y las rocas metasedimentarias en el noroeste del cuadrángulo H-13 (Ward et al, 1973).

5.2.5 Formación Tambor. Está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo girsáceas y cuarzoareniscas gris amarillentas, con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables. Estas facies han sido interpretadas como depósitos fluviales acumulados por corrientes trenzadas (Clavijo, 1985; Laverde y Clavijo, 1985; Laverde, 1985).

La formación Tambor es considerada de edad Berrasiano (Cediell, 1968; Etayo y Rodríguez, 1985). Litológicamente es comparable con la Formación Río Negro de la cuenca de Catatumbo-Maracaibo.

6. PETROGRAFÍA

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

Tabla 3. Clasificación de rocas compuestas principalmente por cuarzo, mica y feldespatos.

Nombre	% "Mica" ¹	% Cuarzo+feldespatos
Psamita	0-20	80-100
Semipelita	20-40	60-80
Pelita	>40	<60

Tomado de Robertson (1999).

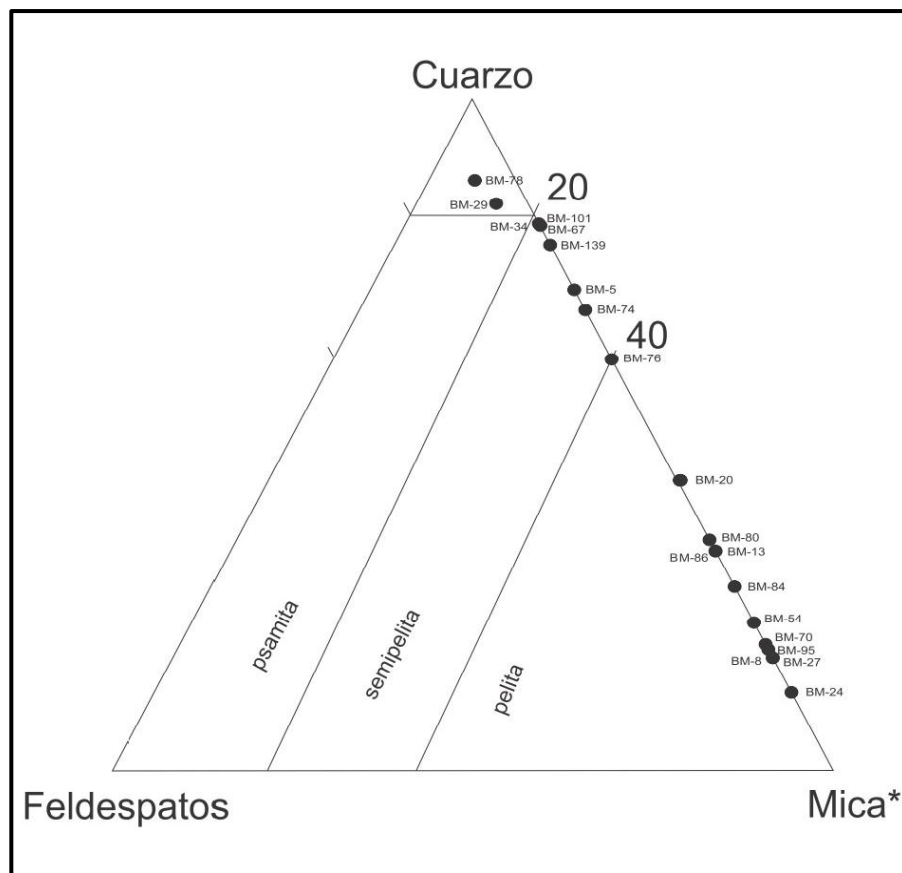
Las variedades litológicas se nombraron de acuerdo con la nomenclatura de la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas, 2004 (siglas en inglés: SCMR), de la Unión Internacional de Geociencias (<http://www.iugs.org/>, IUGS)

Los tamaños de grano se clasificaron según la propuesta de la SCMR (2004), que establece los términos aplicados para tamaños de grano así: grano muy grueso (>16 mm), grano grueso (16-4 mm), grano medio (4-1 mm), grano fino (1-0,1 mm), grano muy fino (0,1-0,01 mm) y grano ultrafino (<0,001 mm).

¹ Mica¹ incluye todos los minerales a excepción del cuarzo, feldespatos (potásico y plagioclasa) y minerales carbonatados o calcosilicatados.

En la tabla 4, se presenta la composición mineralógica (en %) de los Esquistos del Silgará. Los datos según la clasificación de las muestras se graficaron en el diagrama cuarzo-feldespatos-mica¹ de Robertson, 1999 (ver Figura 4). En este diagrama se puede apreciar que las rocas de los Esquistos del Silgará en la zona de estudio corresponden a Semipelita, Pelitas y psamitas.

Figura 4. Subdivisión de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y mica.



Tomado de Robertson (1999)

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

Tabla 4. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará. Rocas pelíticas

TIPO DE ROCA	LITOTIPO	N° MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL (%)												
			Qtz	Kfs	Ms	Chl	Bt	Grt	Ep	Gr	Op	Zrn	Tur	And	TOTAL
PELÍTICAS	Esquistos cuarzo-muscovítico con granate	Bm-27	29	-	40	-	-	9	-	17	5	-	-	-	100
		Bm-70	31	-	37	-	-	15	-	12	5	-	-	-	100
		Bm-24	25	-	40	19	7	5	-	-	4	-	-	-	100
		Bm-8	29	-	38	-	12	18	-	-	3	-	-	-	100
	Esquistos cuarzo-muscovíticos	Bm-54	31	-	40	-	7	-	-	14	8	-	-	-	100
		Bm-95	33	-	41	-	12	-	-	9	5	-	-	-	100
	Esquistos muscovítico-cuarzosos con granate	Bm-13	44	-	19	-	10	9	3	13	2	-	-	-	100
		Bm-86	43	-	18	-	8	15	-	11	2	1	2	-	100
		Bm-80	45	-	21	-	-	6	-	23	5	-	-	-	100
	Esquistos muscovítico-cuarzosos	Bm-20	48	-	18	-	6	-	3	-	4	-	2	-	100
		Bm-84	38	-	23	-	9	-	-	-	9	-	6	15	100

Tabla 5. Composición mineralógica de los Esquistos del Silgará. Rocas semipelíticas y psamitas.

TIPO DE ROCA	LITOTIPO	N° MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL (%)												
			Qtz	Kfs	Ms	Chl	Bt	Grt	Ep	Gr	Op	Zrn	Tur	And	TOTAL
SEMIPELÍTICAS	Cuarцитas con granate	Bm-5	70	-	15	-	8	5	-	-	2	-	-	-	100
		Bm-74	67	-	13	-	5	9	-	-	6	-	-	-	100
		Bm-76	60	-	-	-	10	15	10	-	5	-	-	-	100
		Bm-101	78	-	-	-	7	11	-	-	4	-	-	-	100
	Cuarцитas	Bm-34	78	-	14	-	-	-	-	-	4	-	4	-	100
		Bm-67	78	-	15	-	-	-	-	-	3	-	4	-	100
		Bm-139	75	-	14	-	8	-	-	-	3	-	-	-	100
PSAMITAS	Cuarцитas	Bm-29	82	5	8	-	-	-	-	-	5	-	-	-	100
		Bm-78	88	4	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100

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

6.1 ROCAS PELÍTICAS

6.1.1 Esquistos cuarzo-muscovíticos con granate (muestras: BM-24, BM-8).

Son rocas con estructura esquistosa-microplegada, presentan una dirección de foliación predominante S_n . Como minerales principales están la muscovita y el cuarzo, mientras que la biotita, clorita, grafito y granate se presentan como minerales menores.

Muscovita (37-40%): agregados hojosos, compuestos de individuos homeoblásticos, subidioblásticos de tamaño de grano muy fino, forman bandas poliminerales con el cuarzo, grafito y minerales opacos a los cuales se asocia en contacto neto. Se presenta concordantemente con las direcciones de esquistosidad. Su distribución en la roca es abundante y homogénea.

Cuarzo (25-31%): se presentan dos variaciones de cuarzo: La primera como agregados minerales, agregados finos, forman una textura lepidogranoblástica en algunas bandas dentro de la roca, forman bandas poliminerales con la muscovita, grafito y minerales opacos a los cuales se asocia en contacto neto. Los individuos de cuarzo son concordantes con la dirección de esquistosidad. Forma sombras de presión alrededor del granate; la segunda variedad se encuentra como individuos minerales xenoblásticos de tamaño de grano fino a muy fino, distribuidos heterogéneamente en las rocas y concordantes con la dirección de foliación. Estos individuos también se presentan rellenando venillas en las rocas.

Clorita (19%): se presentan dos generaciones de clorita, la primera como agregados minerales con geometrías alargadas concordantemente con la foliación, la segunda se presenta como individuos cortando la foliación.

Granate (5-18%): individuos minerales idioblásticos con caras hexagonales y alto relieve, muestran alta densidad de fracturas rellenas de óxidos, algunos individuos se observan reemplazados por óxidos, con tamaños de grano entre medio a fino, exhiben inclusiones de cuarzo y minerales opacos distribuidas al azar.

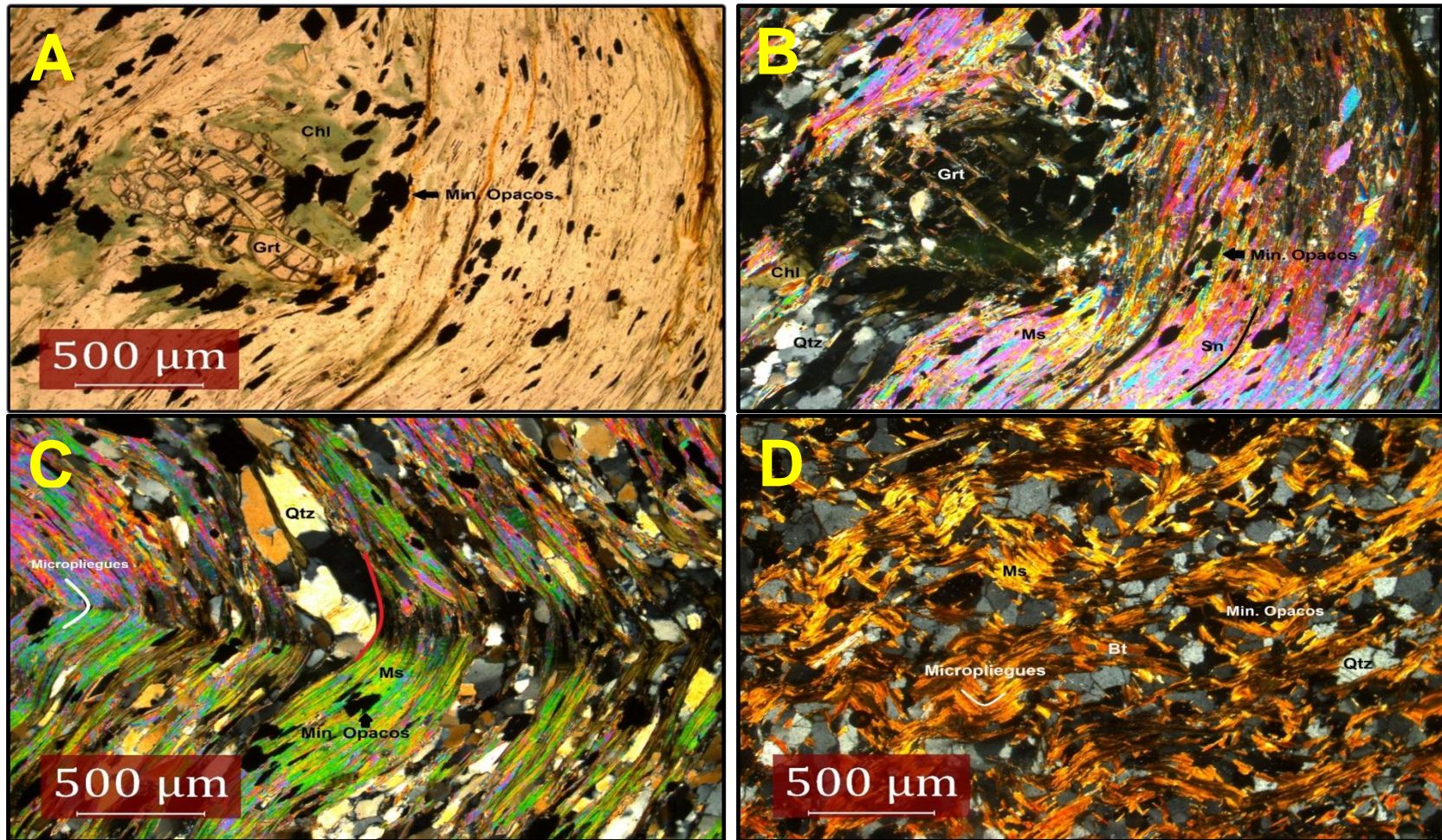
Grafito (12-17%): agregados muy finos alargados concordantes con la dirección de esquistosidad, se presentan en bandas polimineraleas con el cuarzo, muscovita y minerales opacos a los cuales se asocia en contacto neto. su distribución en la roca es homogéneo.

Biotita (7-12%): individuos subidioblásticos alargados en dirección de la foliación de tamaño de grano que va desde fino a muy fino, forma bandas polimineraleas con la muscovita y el cuarzo.

Minerales opacos (3-5%): individuos homeoblásticos alargados en dirección de la esquistosidad, asociados a cuarzo, muscovita y grafito.

La textura predominante es granolepidoblástica, pero localmente estas rocas presentan texturas porfidoblástica en matriz granolepidoblástica.

Figura 5. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos con granate. A-B: Porfidoblastos de granate alterándose a clorita y orientación principal de los minerales; C-D: Microestructuras esquistosa-microplegada. Muestra BM-24. (A) Nícoles paralelos, (B-C) Nícoles cruzados; BM-8 (D) Nícoles cruzados.



6.1.2 Esquistos cuarzo-muscovíticos (muestras: BM-54, BM-95). Generalmente estas rocas exhiben una esquistosidad bien desarrollada y microplegada, su tamaño de grano es fino. Como minerales principales la muscovita y el cuarzo.

Muscovita (40-41%): Se presentan como individuos subidioblásticos y como agregados cristalinos laminares alargados de manera concordante con las direcciones de esquistosidad, en ocasiones forman bandas monominerales subparalelas a paralelas, también forman bandas poliminerales con minerales de cuarzo y grafito. Generalmente son de tamaño de grano muy fino y se asocia en contacto neto con el cuarzo, algunas veces con el grafito, clorita y minerales opacos. Se encuentra distribuido homogéneamente en la roca.

Cuarzo (31-33%): individuos xenoblásticos y alargados en las direcciones de esquistosidad, otras veces se disponen al azar en la roca, su tamaño de grano va de muy fino a fino y generalmente se encuentra en contacto con la muscovita y grafito. También se presentan como agregados en bandas monominerales subparalelas y como porfidoblastos ligeramente subredondeados.

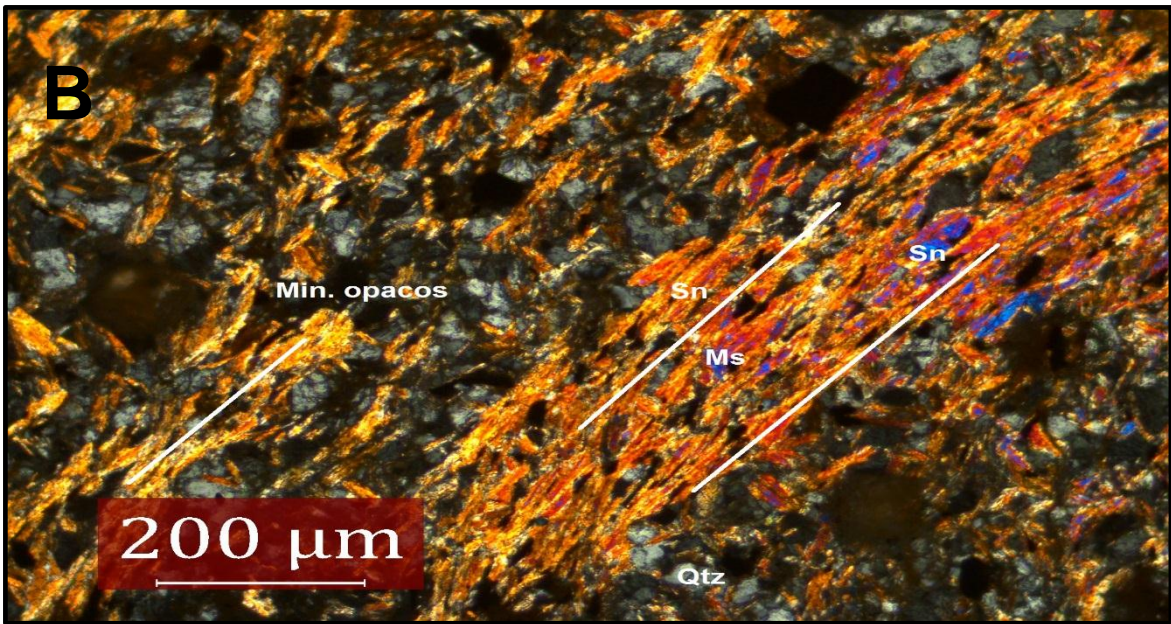
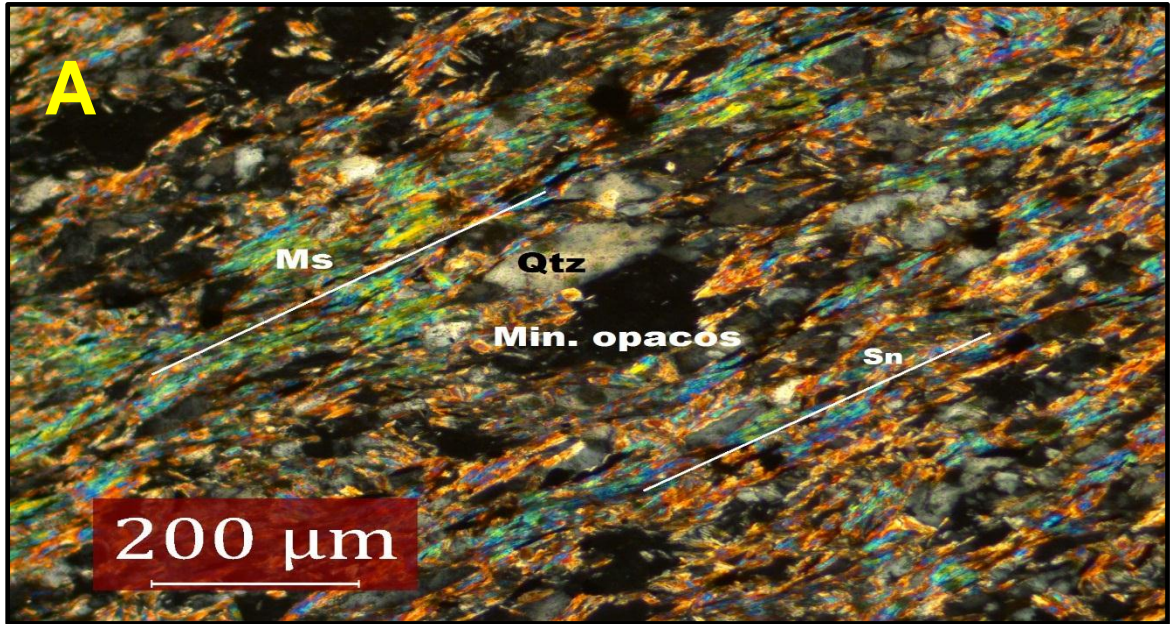
Grafito (9-14%): Agregados muy finos alargados según la dirección de esquistosidad, se observa un aspecto polvoriento sobre la roca, asociado al cuarzo y la muscovita, se presenta abundante en la roca.

Biotita (7-12%): individuos subidioblásticos alargados en dirección de la foliación de tamaño de grano que va desde fino a muy fino.

Minerales opacos (5-8%): Se presentan como individuos subidioblásticos a xenoblásticos alargados en dirección de la esquistosidad, asociados a cuarzo, muscovita y grafito.

La textura predominante es la granolepidoblástica.

Figura 6. Microfotografías de esquistos cuarzo-muscovíticos. A-B: Dirección de esquistosidad Sn y mineralogía predominante de la roca, textura granolepidoblástica; muestras BM-95 (A) y BM-54 (B) nicoles cruzados.



6.1.3 Esquistos muscovítico-cuarzosos con granate (muestras: BM-86, BM-13)

Son rocas que presentan estructuras esquistosa- bandeda, se encuentran compuestas en su mayoría de cuarzo, muscovita y porfidoblastos de granate en menor proporción.

Cuarzo (43-45%): Agregados elongados siguiendo la dirección de foliación, también se presentan como inclusiones dentro de los minerales de granate siguiendo la dirección de esquistosidad, y como individuos minerales subidioblásticos a xenoblásticos de apariencia subredondeada, alargados concordantemente con la foliación, con tamaños que varían entre medio, fino y muy fino; algunos de los individuos se presentan como porfidoblastos dentro de la roca y otros minerales de cuarzo que se encuentran incluidos en minerales de granate corresponden a cuarzo recristalizado; exhiben fracturas y se presentan como sombras de presión alrededor de minerales de granate.

Se encuentra en contacto neto con la muscovita, grafito y granate. Distribuido ampliamente en toda la muestra.

Muscovita (18-21%): Agregados minerales de forma laminar que se alinean para definir la foliación principal de la roca, tamaños finos a muy finos. Definen la dirección de esquistosidad junto con el cuarzo y en algunas ocasiones con el grafito. Se presenta como sombras de presión en los porfidoblastos de granate. Su distribución es uniforme, se encuentra en asociación neta con el cuarzo, grafito, granate y biotita.

Grafito (11-23%): Agregados muy finos alargados según la dirección de esquistosidad, asociado al cuarzo y la muscovita, se presenta abundante en la roca.

Granate (6-15%): Porfidoblastos idioblásticos de granate con caras hexagonales y alto relieve, muestran alta densidad de fracturas rellenas de óxidos, con tamaños de grano entre medio y fino, exhiben inclusiones de cuarzo distribuidos al azar.

Se presentan dos generaciones de granate, los porfidoblastos de granate son pre-tectónicos y van alargados con la dirección de foliación; la segunda generación de granate son porfidoblastos sintectónicos, las sombras de presión se constituyen con minerales de cuarzo y cristales esporádicos de muscovita; estas sombras de presión son simétricas.

Biotita (8-10%): Individuos minerales subidioblásticos a xenoblásticos, con variación de tamaños de grano fino a muy fino, también se presenta como agregados laminares orientados concordantemente con la foliación.

En algunas rocas se encuentra como porfidoblastos de tamaño de grano fino. Su distribución es moderada en toda la roca y se asocia en contacto neto con la muscovita, cuarzo y grafito.

Minerales opacos (2-5%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos con geometría irregular y alargada, con tamaños de grano que varían de fino a muy fino; se encuentran siguiendo la dirección de foliación principal. Su distribución en la roca es homogénea.

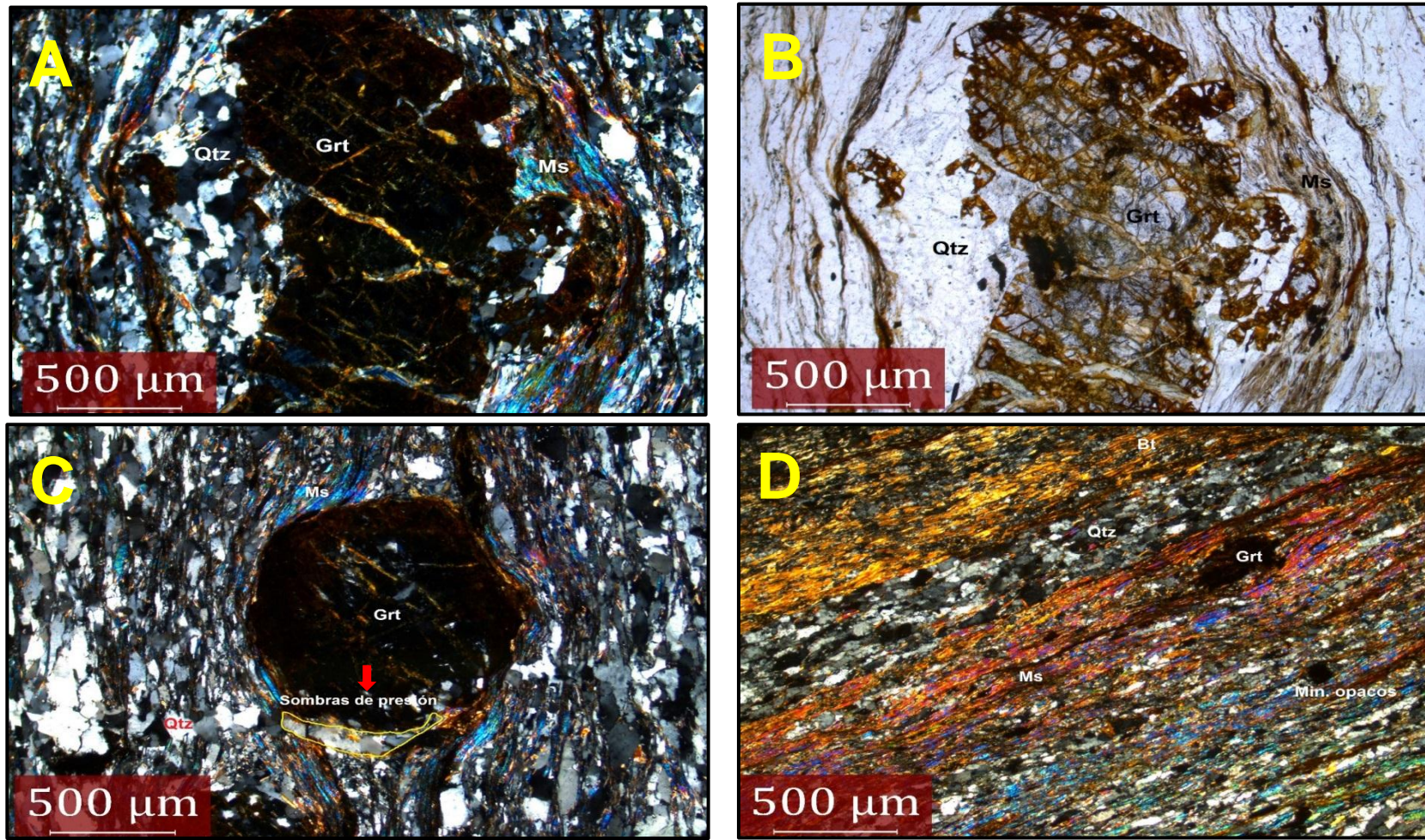
Epidota (3%): Individuos subidioblásticos, con tamaños de grano fino; se presenta concordante con la foliación, y se asocia a la muscovita y el cuarzo en contacto neto.

Turmalina (2%): Individuos subidioblásticos, con tamaños de grano fino; dispuesto concordantemente con la foliación, asociados a cuarzo y muscovita.

Zircón (1%): Individuos minerales idioblásticos a xenoblásticos con formas irregulares, presentan tamaños de grano muy finos.

La textura principal de los esquistos muscovíticos-cuarzosos es la lepidogranoblástica, pero localmente desarrolla texturas granolepidoblástica y porfidoblásticas presentando profidoblastos de cuarzo y granate con inclusiones de cuarzo.

Figura 7. Microfotografías de esquistos muscovítico-cuarzosos con granate. **A-B:** Textura porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica, porfidoblastos de granate; **C:** Sombras de presión alrededor de minerales de granate; **D:** Bandas paralelas, poliminerales, mineralogía típica de este litotipo. Muestra BM-86 (A-C) nicoles cruzados, (B) nicoles paralelos, BM-13 (D) nicoles cruzados.



6.1.4 Esquistos muscovítico-cuarzosos (muestras: BM-84, BM-20). Son rocas que presentan una variación en tamaño de grano de los minerales, en las muestras encontradas hacia el Noreste de Berlín se encuentra Andalucita, mineral indicador de metamorfismo (muestra Bm-84).

Cuarzo (38%-48): Agregados alargados siguiendo la dirección de foliación, también se presentan como individuos minerales subidioblásticos de apariencia subredondeada, alargados concordantemente con la foliación, con tamaños que varían entre medio y fino; algunos de los individuos se presentan como porfidoblastos dentro de la roca, presentan inclusiones de muscovita y exhiben fracturas. Se encuentra en contacto neto con la muscovita, biotita, andalucita y minerales opacos; Distribuido homogéneo y abundante en la roca.

Muscovita (18-23%): agregados minerales concordante con la dirección de esquistosidad, también se presentan como inclusiones en minerales de cuarzo dispuestos al azar y como individuos minerales idioblásticos a subidioblásticos, su tamaño de grano varía de medio a muy fino; algunos de los individuos se encuentran en la roca perpendicular a la dirección de foliación principal, también se encuentran minerales de muscovita sericitizados. Su distribución en la roca es abundante y homogéneo.

Andalucita (15%): Individuos minerales subidioblásticos a xenoblásticos, su tamaño de grano varia de medio a fino, se encuentra alterándose a sericita; distribuido abundante en la roca.

Biotita (6-9%): Agregados minerales laminares orientados concordantemente con la foliación, su distribución en la roca es moderada.

Minerales opacos (4-9%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos con geometría irregular y subredondeada-alargada, con tamaños de grano que varían

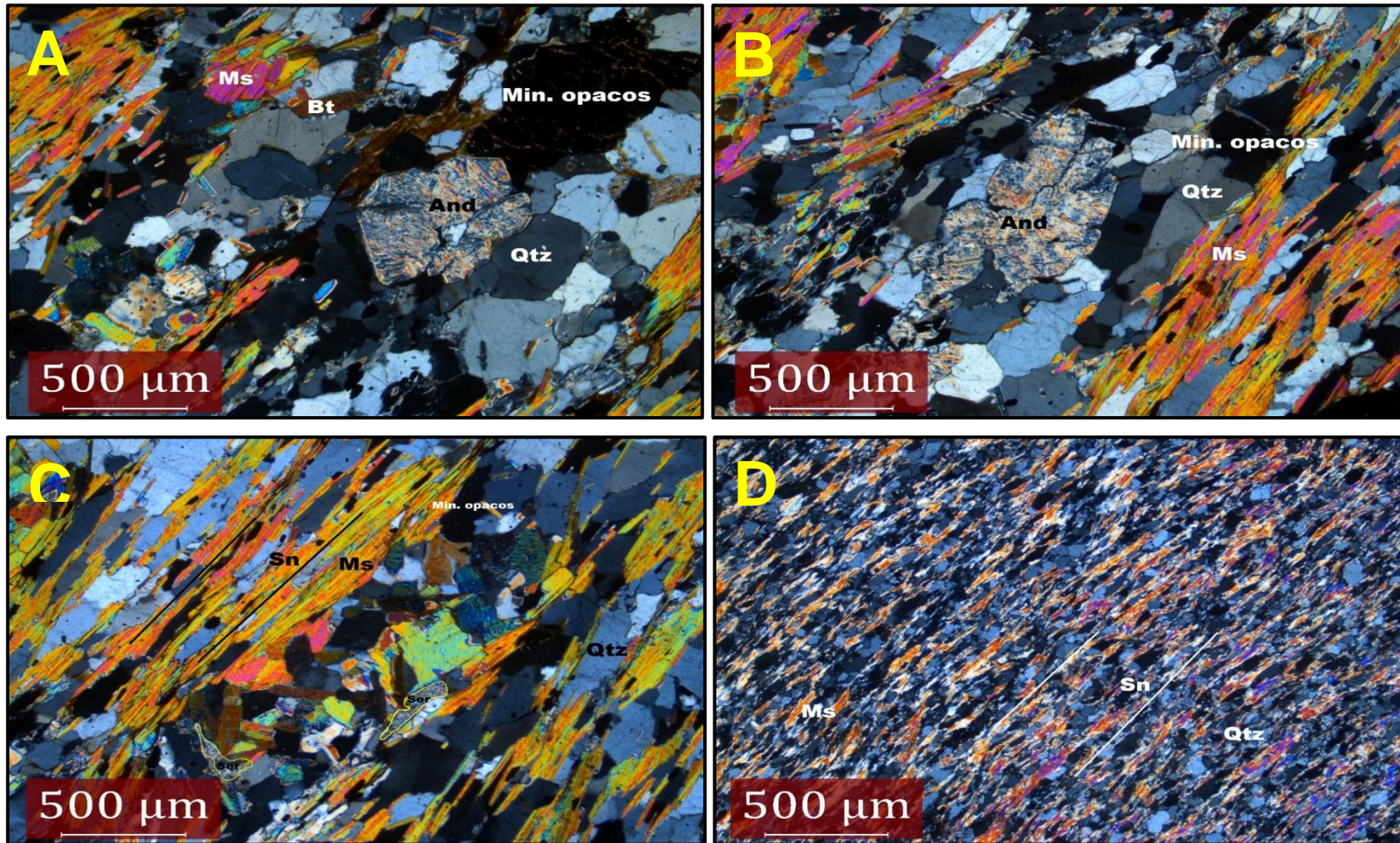
de medio a muy fino; se encuentran siguiendo la dirección de foliación principal, también se presentan como porfidoblastos en la roca y su distribución es moderada.

Turmalina (2-6%): Individuos subidioblásticos, con tamaños de grano fino; los individuos se encuentran concordantemente con la dirección de foliación de la roca.

Epidota (3%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, con tamaños de grano fino; se presenta concordante con la foliación, y se asocia a la muscovita y el cuarzo en contacto neto.

La textura principal de los esquistos muscovíticos-cuarzosos es la lepidogranoblástica, pero localmente desarrolla texturas granolepidoblástica y porfidoblásticas presentando porfidoblastos de cuarzo y minerales opacos.

Figura 8. Microfotografías de esquistos muscovítico-cuarzosos. A-B: Porfidoblásto de andalucita, mineralogía predominante; **C-D:** dirección de esquistosidad Sn, textura lepidogranoblástica. Muestra BM-84 (A-B-C); BM-20 (D) nicoles cruzados.



6.2 ROCAS SEMIPELÍTICAS

6.2.1 Cuarzitas con granate (muestras: BM-5, BM-74, BM-76). Rocas de tamaño de grano medio, presentan una orientación preferencial, indicada por la disposición de los agregados de cuarzo y muscovita.

Cuarzo (60-78%): Individuos minerales idioblásticos a subidioblásticos, su tamaño de grano varía de medio a muy fino, los individuos exhiben fracturas, también se presentan como agregados minerales rellenando venillas e incluyendo minerales de granate; su distribución en la roca es abundante y homogénea.

Muscovita (13-15%): Agregados minerales que se alinean para definir la foliación principal de la roca, están en contacto neto con el cuarzo y minerales de granate. Su distribución es moderada.

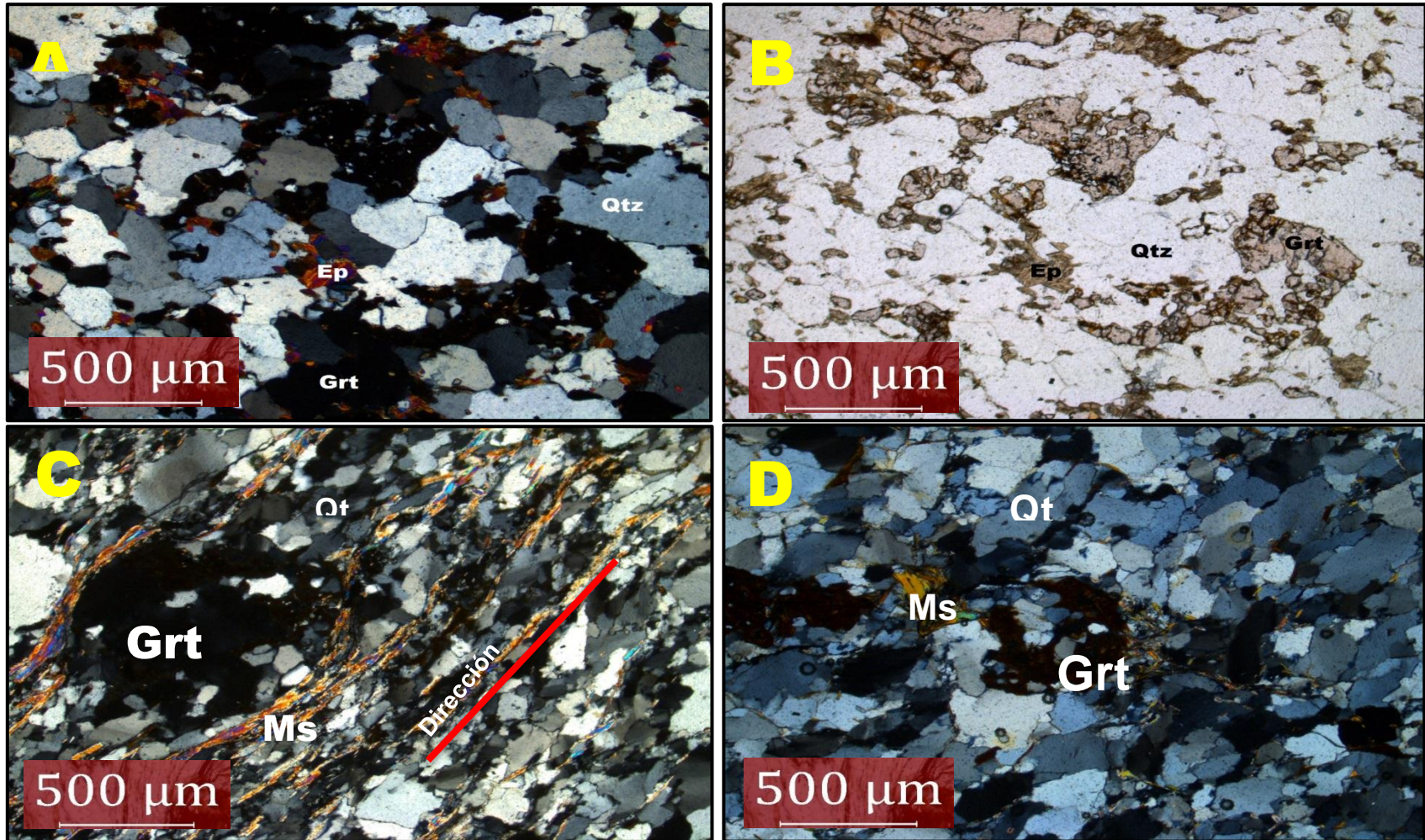
Granate (5-11%): Individuos subidioblásticos, su tamaño de grano varía de fino a muy fino, los individuos se encuentran reemplazados por óxidos e inclusiones minerales de cuarzo, también presenta habito esqueletal distribuido homogéneamente en la roca.

Biotita (5-8%): Agregados minerales dispuestos concordantemente con la dirección de foliación, su tamaño de grano es muy fino, su distribución en la roca es pobre.

Minerales opacos (2-6%): individuos subidioblásticos de geometrías cúbicas variadas, asociado a cuarzo y muscovita, su tamaño de grano varía de fino a muy fino.

La textura predominante es granoblástica pero localmente se desarrollan texturas lepidogranoblásticas presentando agregados de muscovita.

Figura 9. Microfotografías de cuarcitas con granate. A-B: textura granoblástica y granate esqueletal, muestra BM-76; C: textura lepidograboblástica y principal dirección de foliación, muestra BM-5; D: textura granoblástica y mineralogía predominante, muestra BM-74. (A-C-D) nicoles cruzados, (B) nicoles paralelos.



6.2.2 Cuarcitas (muestras: BM-139, BM-34). Rocas constituidas principalmente por minerales de cuarzo.

Cuarzo (75-78%): Individuos minerales subidioblásticos, su tamaño de grano varía de medio a muy fino, los individuos exhiben fracturas, también se presentan como agregados minerales rellenando venillas y porfidoblastos; su distribución en la roca es abundante y homogénea.

Muscovita (14-15%): Agregados minerales concordante con la dirección de foliación, también se presentan como individuos minerales idioblásticos a subidioblásticos, su tamaño de grano varía de fino a muy fino. Su distribución en la roca es homogéneo.

Biotita (8%): Agregados minerales concordantes con la dirección de foliación, se asocia a minerales de cuarzo y muscovita.

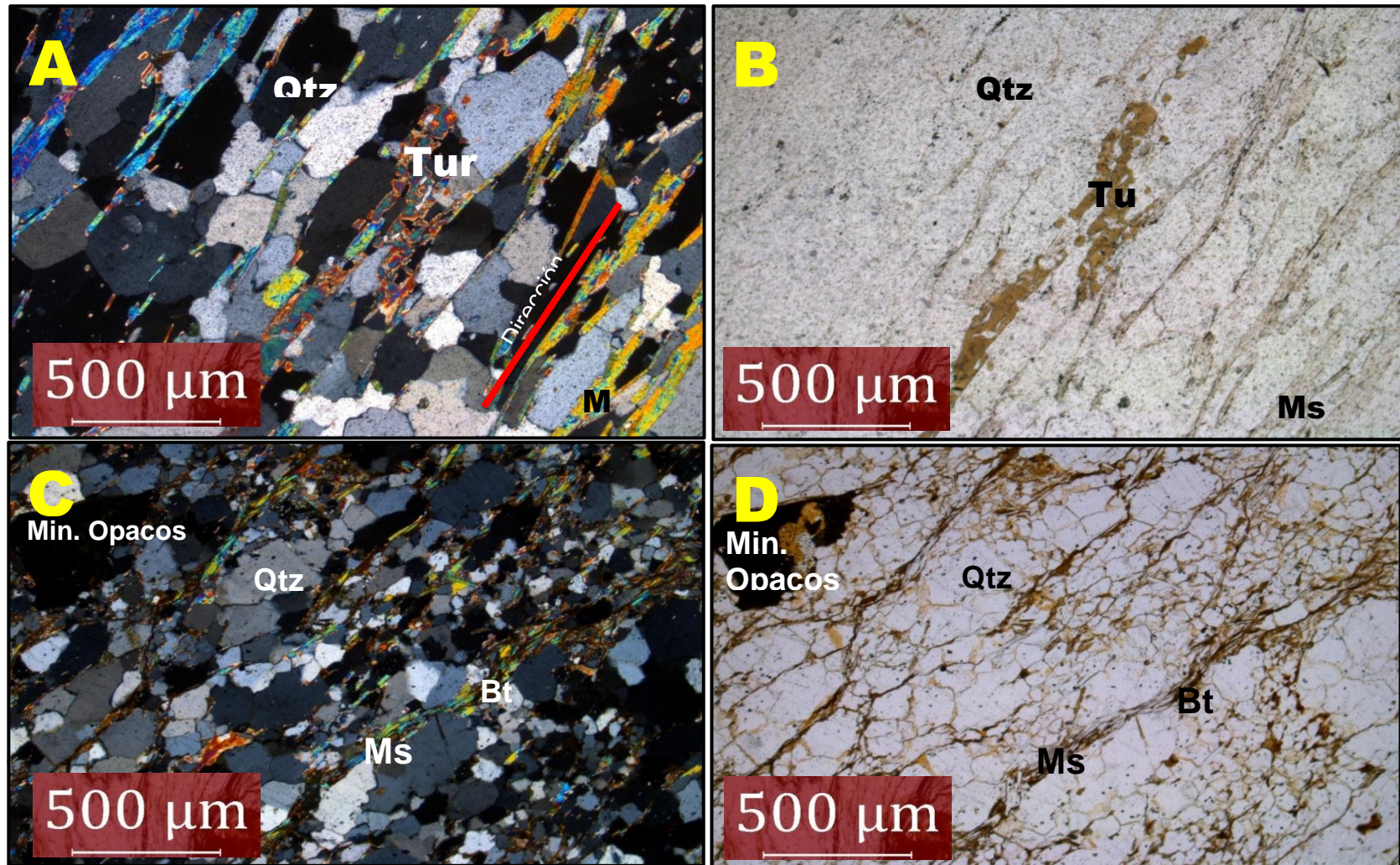
Minerales opacos (3-4%): individuos subidioblásticos de tamaño de grano fino, asociado a cuarzo y muscovita.

Turmalina (4%): Individuos subidioblásticos, con tamaños de grano fino; los individuos se encuentran concordantemente con la dirección de foliación de la roca.

La textura predominante en las cuarcitas es granoblástica pero localmente se desarrollan texturas lepidogranoblásticas y porfidoblásticas presentando profidoblastos de cuarzo.

Son rocas que exhiben una textura granoblástica constituida en más de un 80% por cuarzo.

Figura 10. Microfotografías de cuarcitas. A-B Textura lepidogranoblástica y principal dirección de foliación, muestra BM-34; C-D: Mineralogía típica de este litotipo, muestra BM-139. (A-C) nicoles cruzados, (B-D) nicoles paralelos.



6.3.1 Cuarzitas (muestras: BM-78). Cuarzo (82-88%): Individuos minerales idioblásticos a subidioblásticos, su tamaño de grano varía de medio a fino, también se presentan como porfidoblastos; su distribución en la roca es abundante y homogénea.

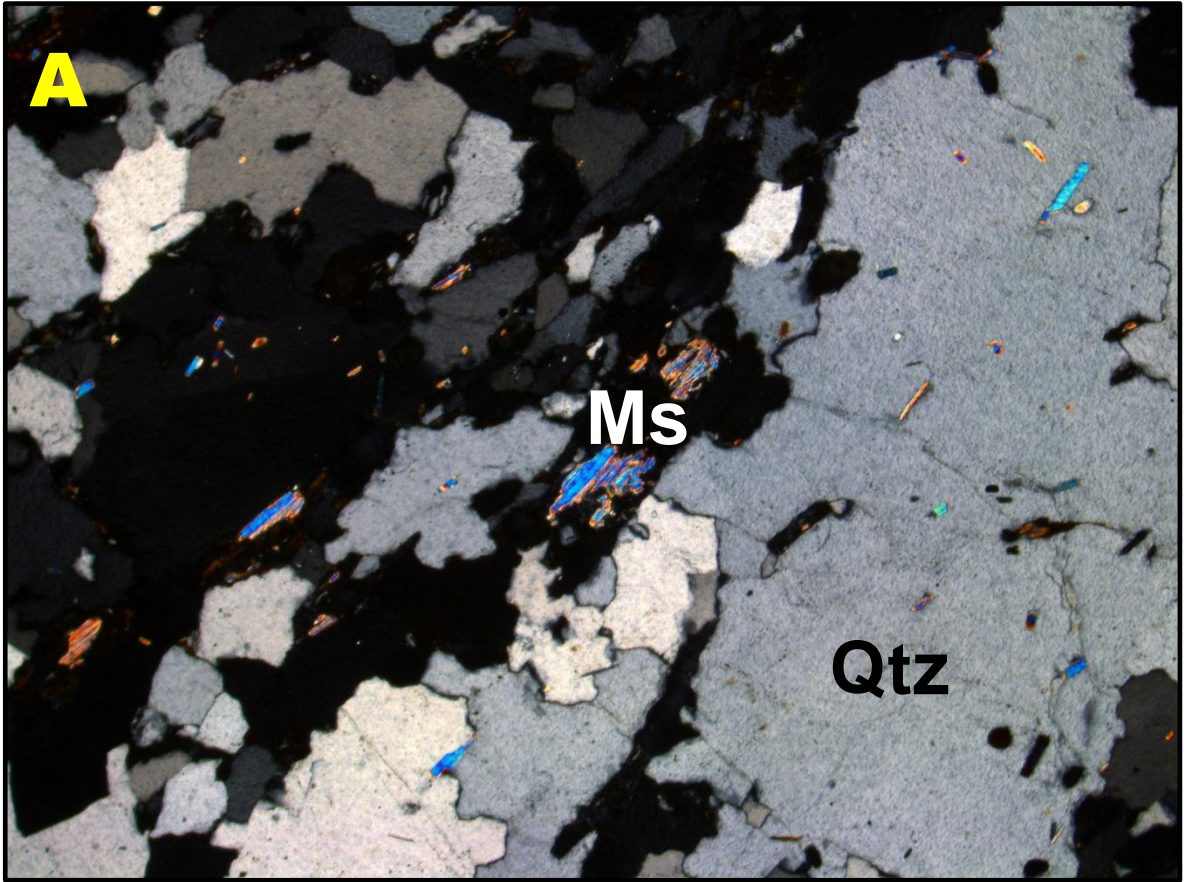
Muscovita (8%): Agregados minerales asociados a minerales de cuarzo, también se presentan como individuos idioblásticos a subidioblásticos, su tamaño de grano varía de fino a muy fino.

Feldespatos potásicos (4-5%): Individuos xenoblásticos con forma subredondeada y tamaño de grano fino; se asocia en contacto neto con el cuarzo.

Minerales opacos (5%): individuos subidioblásticos de tamaño de grano muy fino, asociado a cuarzo. Su distribución en la roca es pobre.

La textura predominante en las cuarcitas es granoblástica.

Figura 11. Microfotografías de cuarcitas. A: textura granoblástica y mineralogía principal. Muestra BM-78 (A) nicoles cruzados.



7. METAMORFISMO

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

7.1 METAMORFISMO DINÁMICO

Los esquistos del Silgará se ubican en la provincia tectonoestratigráfica del Macizo de Santander la cual presenta un fallamiento inverso con dirección predominante N-S, que ocasiona que la división de la misma en 5 bloques tectónicos: bloque Floresta, Ocaña, Cucutilla, Pamplona y Labateca; dentro de los bloques Floresta, Ocaña y Pamplona se encuentran distribuidos los afloramientos pertenecientes a los Esquistos del Silgará.

El metamorfismo dinámico en la zona de estudio es evidenciado por la estructura esquistosa-microplegada hallada en las muestras (Figura 5), muestras de mano milonitizadas afectadas por fallas locales y cercanías al sinclinal del picacho.

Las rocas se clasificaron según la SCMR (2007) como milonitas (muestra BM-83) y como protomilonitas (muestra BM-28), estas presentan un buen desarrollo de la foliación como resultado de la disminución del tamaño de grano y el alargamiento por deformación de los minerales.

Las milonitas encontradas en el área indican deformación dúctil, algunas formadas posiblemente a temperaturas 300-500°C, las rocas milonitizadas a estas temperaturas presentan fracturamiento, los oxidos se encuentran rellenando estas fracturas en la roca.

7.2 METAMORFISMO REGIONAL

El metamorfismo regional es de grado intermedio, alcanzando la parte baja de la zona de andalucita de la facies anfibolita, la cual corresponde al pico metamórfico. Otras paragénesis definidas indican las zonas de la biotita y granate en la facies esquistos verdes. De acuerdo con Smulikowsky et al., 2002 y Spear, 1993, las temperaturas para estas zonas de metamorfismo en rocas pelíticas y semipelíticas varían entre 440-500°C.

7.2.1 Paragénesis minerales

7.2.1.1 Facie Esquistos Verdes

- **Zona de la Biotita.** Las rocas pertenecientes a esta zona, se localizan en el centro del área de estudio (Corregimiento de Berlín), las paragénesis en la zona de la biotita son las siguientes:

En rocas pelíticas:

Muscovita + Cuarzo + Biotita

Rocas semipelíticas:

Cuarzo + Muscovita + Biotita

La paragénesis Muscovita + Cuarzo + Biotita representa la mineralogía original de la roca.

- **Zona del Granate.** La presencia del granate se manifiesta a lo largo de toda el área de estudio variando su tamaño de grano, las paragénesis en la zona del granate son las siguientes:

En rocas pelíticas:

Granate + Cuarzo + Biotita

Granate + Cuarzo + Biotita + Muscovita

Granate + Cuarzo + Muscovita + Clorita

En rocas semipelíticas:

Granate + Cuarzo + Muscovita + Biotita

Granate + Cuarzo + Muscovita + Biotita + Epidota

La primera aparición del granate puede ocurrir según Spear (1993) a temperaturas entre 440 y 470°C. La paragénesis granate + cuarzo + biotita representa la mineralogía original de la roca, posteriormente se formó una segunda generación de granate y cuarzo y se forma la muscovita, esto para las rocas pelíticas.

En las rocas semipelíticas la paragénesis Granate + Cuarzo + Muscovita + Biotita representa la mineralogía original de la roca, para estas rocas está es la máxima zona metamórfica alcanzada, mientras que las rocas pelíticas llegar a alcanzar la facie anfibolita en la zona andalucita.

7.2.1.2 Facie Anfibolita

- Zona de la Andalucita. La presencia de la andalucita se manifiesta hacia la zona norte del área de estudio, en cercanías a la Esmeralda y presenta las siguientes paragénesis:

En rocas pelíticas:

Cuarzo + Muscovita + Biotita

Cuarzo + Muscovita + Biotita + Andalucita

La aparición de la andalucita puede indicar temperaturas de formación intermedias, alrededor de los 500-600°C; hacia el norte de la zona de estudio se produce la aparición de la andalucita en cercanías a la Esmeralda, la andalucita se presenta como porfidoblastos dentro de la roca.

Los esquistos del silgara en la franja de Berlín, presentan intercalaciones de rocas pelíticas y semipelíticas; la secuencia zonal para estas rocas (clorita-biotita-granate-andalucita-estaurolita-cianita-silimanita) se basa en García (2007); en esta franja se observa que la secuencia zonal se presenta de manera incompleta, para la franja de Berlín se encuentra desde la zona de la biotita y finaliza en la zona de la andalucita indicando un metamorfismo de grado intermedio.

8. DISCUSIÓN

Las rocas metamórficas aflorantes en el área de Berlín son de composición pelítica y semipelítica. Las paragénesis en estas rocas indican que el pico metamórfico se alcanzó en condiciones de la parte baja de la zona de andalucita en facies anfibolita, lo cual indica según Spear (1993) un metamorfismo de grado intermedio. Sin embargo la ocurrencia de rocas con andalucita está restringida a la zona norte del área de estudio (la Esmeralda) y este mineral aparece en esquistos muscovítico-cuarzosos (muestra BM-84). Se trató de trazar las isogradas de metamorfismo, sin embargo, los datos del estudio que se llevó a cabo no concuerdan totalmente con los presentados por Ward et al., 1973. Estos autores cartografiaron las isogradas estaurolita-granate y silimanita-estaurolita, de sur a norte para el área de estudio. Las isogradas de mayor grado metamórfico reportadas por Ward et al., 1973 son silimanita-estaurolita para el área de estudio, estas condiciones de metamorfismo no se encontraron en las muestras recolectadas y analizadas en el presente estudio. Las rocas estudiadas en gran parte corresponden a la descripción inicial que Ward et al., 1973 realiza cuando se definió como Formación Silgará. Basado en el análisis comparativo que realiza Rueda y Villamizar., 2014 indican que la zona de estudio es de grano intermedio en el Macizo de Santander. De acuerdo con esto, y considerando a los Esquistos del Silgará tal como se han definido y cartografiado las rocas pelíticas y semipelíticas de la zona de estudio representaría una franja intermedia de esta secuencia metamórfica. La franja de Berlín se asemeja a la franja Sardinata-Abrego-Hacarí exceptuando que la franja de Berlín inicia en la zona de la biotita facies esquistos verdes y la de Sardinata-Abrego-Hacarí inicia en la zona de la clorita facies esquistos verdes (Rueda y Villamizar, 2014). La similitud con la definición inicial dada por Ward et al., 1973 para estos esquistos permite afirmar que las rocas encontradas en esta área corresponden a los Esquistos del Silgará.

9. CONCLUSIONES

- Los Esquistos del Silgará en la franja Berlín se componen principalmente de rocas pelíticas como esquistos cuarzo-muscovíticos con o sin granate, esquistos muscovítico-cuarzosos con o sin granate, rocas semipelíticas asociadas con cuarcitas con o sin granate y psamitas en menor proporción asociadas a cuarcitas. Las principales texturas identificadas para estas rocas son: lepidogranoblástica, granolepidoblástica, porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, granoblástica y milonítica.
- El metamorfismo predominante es regional con un metamorfismo dinámico sobreimpuesto, asociado a fallas de carácter regional y local.
- Las paragénesis determinadas en las rocas pelíticas son para la zona de la biotita: muscovita + cuarzo + biotita; zona del granate: granate + cuarzo + biotita, granate + cuarzo + biotita + muscovita, granate + cuarzo + muscovita + clorita; zona de la andalucita: cuarzo + muscovita + biotita, cuarzo + muscovita + biotita + andalucita. Mientras que para las semipelíticas son en la zona de la biotita: muscovita + cuarzo + biotita; zona del granate: granate + cuarzo + muscovita + biotita, granate + cuarzo + muscovita + biotita + epidota, condiciones de metamorfismo.
- El pico metamórfico se alcanzó en condiciones de la parte baja de la zona de la andalucita en la facies anfibolita. La paragénesis del pico metamórfico es cuarzo + muscovita + biotita + andalucita.
- La franja de Berlín se encuentra desde la zona de la biotita y finaliza en la zona de la andalucita indicando un metamorfismo de grado intermedio.

- El Macizo de Santander donde afloran los Esquistos del Silgará en la franja de Berlín muestra una predominancia de rocas pelíticas y semipelíticas, en menor proporción se encuentran psamitas, el análisis del estudio con respecto a estudios recientes indica que la secuencia estudiada no está completa. En relación con el grado de metamorfismo se encuentra la franja de Berlín de grano medio.

10.RECOMENDACIONES

- Realizar estudios geoquímicos y definir edades para los Esquistos del Silgará en la franja de Berlín.
- Evaluar las condiciones cualitativas y cuantitativas P-T mediante la geotermobarometría.
- Desarrollar estudios tectonoestratigráficos, geocronológicos, termocronológicos, con el fin de determinar las condiciones de formación del protolito de los Esquistos del Silgará, definir las edades de sedimentación y metamorfismo, y las condiciones de la evolución tectonometamórfica de la franja de Berlín.

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

BOINET, T; BOURGOIS, J; BELLON, H; TOUSSAINT, J. Age et repartition dumagmatism Premesozoique des Andes de Colombie, Citado por MANTILLA, Luís Carlos; VALENCIA, Victor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge y COLEGIAL,

Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2009, vol.31, no.1, p. 31-43.

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

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

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

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

CAVIEDES, Marco Aurelio y GOMEZ, Rafael Enrique. Petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Central del Macizo de Santander. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, 2006. 96p.

CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de

Santander, Memoria explicativa. Bucaramanga: INGEOMINAS, 1994. 47p.
Código Estratigráfico Norteamericano. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. 48 p.

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

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

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

GARCÍA, C. y RÍOS, C. Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (COLOMBIA), Citado por RÍOS, Carlos Alberto y GARCÍA, Carlos Alberto. Primera ocurrencia de los tres polimorfos de Al₂O₅ en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2001, vol.23, no.38, p. 51-59.

GARCÍA, Carlos Alberto y CAMPOS, Nelson Orlando. Composición química y mineralógica de las biotitas metamórficas del sector Central del Macizo de Santander, Colombia. En: Boletín de Geología. Julio-Diciembre, 2000, vol.22,

no.37, p. 18-27.

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

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

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

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

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

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

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Mapa de zonificación climática

de Colombia. Escala 1:7.500.000. IGAC, 2012.

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

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

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

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

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

MANTILLA, Luís Carlos; RÍOS, Carlos Alberto y CASTELLANOS, Oscar Mauricio. Estudio del proceso de rehidratación de las rocas metamórficas de la Formación Silgará a partir del análisis composicional de la clorita, región suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2002, vol.24, no.39, p. 7-17.

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

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

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

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

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

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

NIÑO, Diana Carolina. Metamorfismo de la Formación Silgará en el sector

Sardinata-Ábrego-Hacarí, Región Norte del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012. 120p.

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

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

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

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

RÍOS, Carlos Alberto y GARCÍA, Carlos Alberto. Primera ocurrencia de los tres polimorfos de Al₂O₅ en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, Región Suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio, 2001, vol.23, no.38, p. 51-59.

RÍOS, Carlos Alberto. Ocurrencia, composición química y significado genético de la biotita en las rocas metamórficas de la Formación Silgará en la región suroccidental del Macizo de Santander. En: Boletín de Geología. Enero-Junio,

2001, vol.23, no.38, p. 41-49.

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

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

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

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

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

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

RUEDA GARZÓN, Luisa Fernanda y VILLAMIZAR PABON, Deicy. Petrografía de los esquistos del Silgará en la franja Matanza – Cachirí-Turbay, Santander, Colombia. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2014. 129 p.

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

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

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

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

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

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

VAN DER LELIJ, Roelant. Reconstructing north-western Gondwana with

implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. Tesis de Doctorado en ciencias, mención en Ciencias de la Tierra. Ginebra: Faculté des Sciences, Université de Genève, 2013. 248 p.

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

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

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

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

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

ANEXOS

Los anexos se encuentran adjuntados en la carpeta con el mismo nombre, dentro de esta se encuentran las carpetas: Anexo A con el archivo “Catálogo muestras de la franja de Berlín” .xls; Anexo B con el archivo “Mapa geológico de la zona de estudio” y la carpeta Anexo C donde se encuentran los archivos “Fotos muestras sección delgada del área de estudio” .jpg.