

**Petrografía de las unidades metamórficas aflorantes al sur de Bábege, Macizo de Santander**

**Angie Yurley Sánchez Rodríguez**

**Tatiana Andrea Suárez Chaparro**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Geólogas**

**Director:**

**Carlos Alberto García Ramírez**

**Geólogo, PhD en Geología**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas**

**Escuela de Geología**

**Bucaramanga**

**2018**

### **Dedicatoria**

*A Dios, por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo.*

*A mis padres, Noralba Rodríguez y Jorge Enrique Sánchez, quienes me han ayudado a culminar esta etapa con su apoyo incondicional, infinito amor y sacrificios en todos estos años.*

*A mis hermanos, Yuli, Enrique y Silvia, porque con ellos compartí una infancia feliz, que recuerdo con amor.*

*A mis hermosas sobrinas, Valentina, Sofía y Salomé, quienes me llenan de amor y motivación.*

*A la familia Cala, en especial a Amparo Cala y Jaime Cala Vecino, por todas las enseñanzas, consejos, cariño y apoyo.*

*A mi novio, Nicolás, que con su gran apoyo, cariño, comprensión y paciencia me impulsa a soñar y me alienta a seguir adelante.*

*A nuestro director de tesis, Carlos Alberto García Ramírez, por la dirección, dedicación y apoyo que nos brindó en este trabajo.*

*Asimismo, a mi amiga y compañera de tesis, Tatiana Suárez, por su dedicación, simpatía, esfuerzo y por haber trabajado hombro a hombro conmigo en este proyecto.*

**Angie Yurley Sánchez Rodríguez**

### **Dedicatoria**

*A Dios, por brindarme la sabiduría, inteligencia, y fortaleza requeridas para culminar este logro.*

*A mis padres; Edgar y Carmen, por su amor, entrega, apoyo y sacrificio incondicional.*

*A mi hermano, Edgar Andrés, por su camaradería, amistad y consejos.*

*A mis abuelos y abuelas, por su gran amor y sabiduría.*

*A nuestro director de tesis, Carlos Alberto García, por su orientación y dedicación a lo largo de este proceso.*

*A mi amiga y compañera de tesis, Angie, por su dedicación, esfuerzo y paciencia en la realización de este proyecto.*

*A mis amigos y compañeros, que contribuyeron a mi proceso de formación personal y profesional.*

***Tatiana Andrea Suárez Chaparro***

### **Agradecimientos**

En primer lugar, expresamos nuestros agradecimientos al director de este proyecto, Carlos Alberto García Ramírez, por la dirección, dedicación, aporte de ideas y sus contribuciones académicas y personales.

Asimismo, agradecemos a la Escuela de Geología, al laboratorio de preparación de muestras y al grupo de investigación en geología básica y aplicada (GIGBA) de la Universidad Industrial de Santander, en especial a Luis Eduardo Garrido Palencia, Luis Fernando Anaya Molina y Cesar Enrique Llerena Betancourt por su colaboración.

A los docentes de la Escuela de Geología quienes hicieron parte de nuestra formación profesional.

**Tabla de contenido**

Introducción	14
1. Marco geológico	15
2. Antecedentes	16
3. Metodología	18
4. Petrografía	19
4.1 Neis de Bucaramanga	23
4.1.1 Rocas metamáficas	23
4.1.1.1 Protomilonitas (SB-191, SB-195)	23
4.1.2 Rocas metacuarzofeldespáticas	27
4.1.2.1 Protomilonita (SB-192)	27
4.1.3 Rocas metapelitas	29
4.1.3.1 Mesomilonita (SB-193)	30
4.1.3.2 Neises biotíticos (SB-196, SB-197)	32
4.2 Esquistos del silgará	36
4.2.1 Rocas metapelitas	36
4.2.1.1 Esquistos moscovíticos (SB-198, SB-200)	36
4.2.1.2 Esquisto biotítico con granate (SB-202)	40
4.3 Ortoneis	43

4.3.1 Rocas metapelitas	43
4.3.1.1 Protomilonitas (SB-205, SB-212)	43
4.4 Granito de Durania	48
4.4.1 Granito (SB-209)	49
5. Discusión de resultados	50
6. Conclusiones	52
7. Recomendaciones	54
Referencias Bibliograficas	55

**Lista de figuras**

Figura 1. Localización de la zona de estudio.....	20
Figura 2. Localización de las muestras.. ..	21
Figura 3. Panorámica mostrando las fallas que afectan el área (Fallas Bábega y Cáraba). .....	21
Figura 4. Protomilonita proveniente de un neis hornbléndico .....	24
Figura 5. Microfotografía de las protomilonitas. ....	26
Figura 6. Afloramiento de protomilonita proveniente de un neis cuarzofeldespático .....	27
Figura 7. Microfotografías de las protomilonitas. ....	29
Figura 8. Contacto entre mesomilonita y neis biotítico. ....	31
Figura 9. Microfotografías de la mesomilonita. ....	32
Figura 10. Afloramiento de neises biotíticos con distinto grado de deformación. ....	33
Figura 11. Microfotografías de neises biotíticos. ....	35
Figura 12. Afloramiento de esquistos moscovíticos y muestra de mano. ....	37
Figura 13. Microfotografías de los esquistos moscovíticos. ....	39
Figura 14. Afloramiento de esquistos biotíticos con granate y muestra de mano. ....	40
Figura 15. Microfotografías de esquistos biotíticos con granate. ....	42
Figura 16. Afloramiento de neis biotíticos y muestra de mano. ....	44
Figura 17. Microfotografías de protomilonitas de composición biotítica.....	46
Figura 18. Microfotografías de protomilonitas de composición biotítica. ....	47
Figura 19. Diagrama P-T .....	48
Figura 20. Microfotografías del Granito de Durania. Nícoles cruzados. ....	50

**Lista de tablas**

Tabla 1. Abreviaturas minerales .....19

Tabla 2. Composición mineralógica de las rocas aflorantes al sur de Bábega. ....22

**RESUMEN**

**TÍTULO:** PETROGRAFÍA DE LAS UNIDADES METAMÓRFICAS AFLORANTES AL SUR DE BÁBEGA, MACIZO DE SANTANDER\*

**AUTORES:** SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, ANGIE YURLEY; SUAREZ CHAPARRO, TATIANA ANDREA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** NEIS DE BUCARAMANGA, ESQUISTOS DEL SILGARÁ, ORTONEIS, PICO METAMÓRFICO, SILLIMANITA.

**DESCRIPCIÓN:**

Las unidades metamórficas aflorantes al sur de Bábeda, municipio de Silos, Norte de Santander, corresponden al Neis de Bucaramanga de composición metamáfica (protomilonitas), metapelítica (milonitas y neises biotíticos) y metacuarzofeldespática (protomilonitas); los Esquistos del Silgará (esquistos moscovítico y esquistos biotíticos con granate) y el Ortoneis (neis biotítico) de composición metapelítica. Además, se encuentra una unidad ígnea correspondiente al Granito de Durania de composición granítica, el cual se encuentra intruyendo a las unidades metamórficas. Las rocas de estas unidades se metamorfosearon durante diferentes eventos, orogenias Grenvilliana y Famatiniana, en un metamorfismo regional que alcanzó las condiciones de la facie anfibolita en la zona de la sillimanita, con un metamorfismo dinámico sobrepuesto relacionado con la acción de las fallas Cáraba, Bábeda y sus fallas satélites.

La sillimanita en las rocas metamórficas aflorantes al sur de Bábeda, indican las condiciones máximas alcanzadas (pico metamórfico). El desarrollo de sillimanita ocurre a expensas de la biotita y la moscovita, los cuales actúan como catalizadores que aceleran la formación de la sillimanita. El suceso más común para estas rocas de alto grado es el reemplazamiento de biotita por sillimanita, en donde la biotita actúa como catalizador al disolverse en un área y precipitar en otro. También la presencia de fluidos en zonas de cizallamiento que actúan con minerales de biotita y feldespato, permiten el desarrollo de sillimanita y sericita. El desarrollo total de sillimanita se observa en las rocas cuyas paragénesis minerales son estables.

\* Trabajo de grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto García Ramírez.

**ABSTRACT**

**TITLE:** PETROGRAPHY OF OUTCROPPING METAMORPHIC UNITS IN SOUTH BÁBEGA, SANTANDER MASSIF.

**AUTHORS:** SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, ANGIE YURLEY; SUAREZ CHAPARRO, TATIANA ANDREA.

**KEYWORDS:** BUCARAMANGA GNEISSES, SILGARÁ SCHIST, ORTHOGNEIS, METAMORPHIC PEAK, SILLIMANITE.

**DESCRIPTION:**

The metamorphic units outcropping in south of Bábega, municipality of Silos, North Santander (Norte de Santander), correspond to Bucaramanga Gneis which has a metamorphic composition (protomylonites), metapelitic (mylonites and biotite schists) and meta-quartz-feldspar (protomylonites), Silgará schists (muscovite schists and biotite schists with garnet) and Ortoneis (biotite schists) of metapelitic composition. In addition, there is an igneous unit corresponding to granite of Durania with granitic-like composition, which is intruding into the metamorphic units. The rocks of these units were metamorphosed during different events, Grenvillian and Famatinian orogenies, in a regional metamorphism that reached the conditions of the amphibolite facies in the zone of sillimanite, with a dynamic superimposed metamorphism related to the action of the faults Cáraba, Bábega and its satellite faults.

The sillimanite in the metamorphic rocks outcropping in south of Bábega, indicate the maximum conditions reached (metamorphic peak). The development of sillimanite occurs at the expense of biotite and muscovite, which act as catalysts accelerating the formation of sillimanite. The most common event for these high-grade rocks is the replacement of biotite by sillimanite, where biotite acts as a catalyst by dissolving in one area and precipitating in another one. Also the presence of fluids in shear zones that act with biotite and feldspar minerals, allow the development of sillimanite and sericite. It is observed that the total development of sillimanite in rocks whose mineral paragenesis is stable.

\*Bachelor Thesis.

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

## Introducción

Las rocas metamórficas que conforman el basamento del Macizo de Santander pertenecen al Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará (en sentido amplio) y el Ortoneis. El Neis de Bucaramanga, de edad precámbrica (Goldsmith *et al.*, 1971; Ward *et al.*, 1973), es la unidad más antigua del basamento del macizo, cuyo evento metamórfico estaría relacionado con la orogenia Grenviliana. Restrepo (1995), refiere que las rocas de los Esquistos del Silgará fueron metamorfozadas durante el Ordovícico Temprano relacionado con el evento orogénico Famatiniano (Lelij, 2015; Mantilla *et al.*, 2016); y el protolito del Ortoneis intruyó de forma sintectónica rocas de los Esquistos del Silgará durante el Ordovícico Temprano (Ward *et al.*, 1973; Restrepo, 1995; Lelij *et al.*, 2015; García *et al.*, 2017).

En el presente trabajo de grado se realizó un estudio petrográfico de las rocas metamórficas que afloran al sur del corregimiento de Bábega, municipio de Silos, Norte de Santander, las cuales pertenecen a las unidades Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará y Ortoneis. La cartografía geológica existente, así como los escasos trabajos publicados no permiten conocer con detalle las características de estas unidades. Con el fin de aportar al conocimiento geológico de este sector del macizo, se realizó trabajo de campo y análisis petrográfico de las rocas metamórficas para establecer en estas características petrográficas (composición mineralógica, paragénesis, características texturales y microestructurales) y condiciones de metamorfismo.

Las rocas del Neis de Bucaramanga consisten en neises biotíticos, protomilonitas y mesomilonitas; los Esquistos del Silgará se constituyen de esquistos moscovíticos y esquistos biotíticos con granate; y el Ortoneis está conformado por protomilonitas. Estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de la facie anfibolita en la zona de sillimanita, con un

metamorfismo dinámico sobreimpuesto relacionado a la alta actividad tectónica en la zona (Fallas Bábege, Cábara y sus satélites).

## 1. Marco geológico

El Macizo de Santander es una zona geológica tectónicamente compleja, cuyo basamento está constituido por rocas metamórficas que son intruidas por cuerpos ígneos de edad Paleozoica Temprana, Jura-Triásica y Miocénica; cubiertos por rocas sedimentarias del Devónico y Carbonífero. Las rocas metamórficas de más antigua a más joven son Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará, Ortoneis y Metasedimentitas de bajo grado.

El Neis de Bucaramanga está constituido por neises pelíticos (neis biotítico, neis biotítico con sillimanita y granate); metabasitas (neis hornbléndico y anfibolita); rocas cuarzofeldespáticas (neis cuarzofeldespático y cuarcitas); rocas calcosilicatadas (mármoles) y cuerpos de migmatitas, las cuales se metamorfosearon bajo condiciones de alta temperatura y media presión, indicando un metamorfismo tipo Barroviano (García *et al.*, 2005) en facies anfibolita, zona de la sillimanita (Cordani *et al.*, 2005) (García *et al.*, 2005).

Suprayaciendo el Neis de Bucaramanga, se encuentran los Esquistos del Silgará, en contacto aún no definido exactamente. Esta unidad se constituye litológicamente de rocas pelíticas (esquistos feldespáticos y esquistos micáceos), rocas semipelíticas (esquistos cuarzofeldespáticos, esquistos cuarzomicáceos, cuarcitas feldespáticas, cuarcitas micafeldespáticas, cuarcitas de moscovita y de feldespatos que muestran una esquistosidad, bandeado o estructura masiva), rocas máficas (esquistos anfibolíticos y esquistos anfibólicos biotíticos y rocas carbonatadas (mármol) (García *et al.*, 2005). Ríos *et al.* (2003) refiere que hacia la parte suroccidental del Macizo de

Santander, el grado metamórfico regional de estas rocas decrece hacia el SW desde la zona de la sillimanita hasta la zona de la biotita y su metamorfismo ha ocurrido bajo condiciones de temperatura baja y presión media, correspondiente a un metamorfismo tipo Barroviano.

Cortando las rocas del Neis de Bucaramanga e intruyendo de forma sintectónica a los Esquistos del Silgará (García *et al.*, 2017) se dispone la unidad Ortoneis, constituida litológicamente de rocas máficas (neises biotíticos y hornbléndicos), y félsicas (neises cuarzofeldespáticos); las rocas máficas muestran una estructura masiva o una foliación poco desarrollada, mientras que las rocas félsicas muestran una estructura néisica, y en ocasiones estructura augen (García *et al.*, 2005). Cerca de la zona de estudio (Franja Silos-Bábega), y de acuerdo con estudios realizados, se indica que las rocas presentes son de composición granodiorítica y granítica emplazadas en ambientes de arco continental activo (granitos sincollisionales); y que el emplazamiento del Ortoneis fue sintectónico y ocurrió durante el pico metamórfico de los Esquistos del Silgará, en facies de Anfibolita (García *et al.*, 2017).

## 2. Antecedentes

En los sectores SW, central y parte del oriental se han realizado diferentes estudios cartográficos, petrográficos, geoquímicos y geocronológicos que han permitido conocer la evolución tectono-metamórfica del Macizo de Santander con un aceptable grado de profundidad (Goldsmith *et al.*, 1971; Ward *et al.*, 1973; Rios, 2003; García, 2005; Castellanos, 2008; Amaya, 2017; Castellanos, 2015; Mantilla, 2016). En cercanías a la zona de estudio (al NW cerca al municipio de Silos) se han establecido características litológicas, de proveniencia, condiciones P-T de metamorfismo y edad en rocas del Ortoneis (Rey, 2015; García *et al.*, 2017), Esquistos del

Silgará y metasedimentitas de bajo grado (Arenas, 2015; Casadiegos 2017; Castellanos, 2017). No obstante, al sur del río Cáraba en cercanías al corregimiento de Bábega, existen muchos interrogantes por resolver.

Goldsmith *et al.*, (1971) refieren que el Neis de Bucaramanga presenta edades de  $945 \pm 40$  m.a y  $680 \pm 140$  m.a; a partir de dataciones radiométricas mediante el método K-Ar en neis hornbléndico y Rb-St en neis biotítico respectivamente. Esta unidad consta de neises pelíticos, máficos, cuarcitas, mármoles, anfibolitas y migmatitas con un grado metamórfico correspondiente a la zona de la sillimanita en facies anfibolita (Cordani et al., 2005).

En contacto con el Neis de Bucaramanga (aún por definir), se encuentran los Esquistos del Silgará; con edad aproximada de 410-450 m.a (Goldsmith et al., 1971). Hacia el sector Silos, esta unidad consta de rocas metapelíticas, rocas metasemipelíticas, cuarcitas y rocas carbonatadas (Casadiegos, 2017). Estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional tipo Barroviense de facies anfibolita en la Orogenia Caledoniana, seguido de un metamorfismo dinámico sobreimpuesto asociado a la alta actividad tectónica del área (Castellanos et al., 2016; Casadiegos, 2017).

Cortando las rocas pertenecientes al Neis de Bucaramanga e intruyendo de forma sintectónica a los Esquistos del Silgará (García *et al.*, 2017), se dispone el Ortoneis, con edades de  $479 \pm 10$  Ma según dataciones U/Pb en neises cuarzofeldespáticos aflorantes hacia la franja Silos-Bábega (García et al., 2017). Rey (2015), realiza un estudio petrológico y geoquímico del Ortoneis en distintos sectores; en la franja Berlín-Ranchadero-Silos particularmente, afirma que el Ortoneis exhibe una estructura néisica, con buen desarrollo de la foliación NW, y que hacia el sector de Silos propiamente, se presentan intercalaciones de neises máficos y pelíticos. García et al. (2017) afirman que hacia el sector Silos-Bábega esta unidad es de composición granoriorítica y granítica

y está constituida de neises cuarzo-feldespáticos con biotita y neises cuarzo-feldespáticos con hornblenda, que fueron emplazados en ambientes de arco continental activo correspondiente a granitos sincolisionales; es decir, su emplazamiento fue sintectónico y ocurrió durante el pico metamórfico de los Esquistos del Silgará en la facies anfibolita.

Instruyendo a estas unidades metamórficas, se encuentra el Granito de Durania, el cual toma el nombre de la población Durania, cerca de la cual una sección típica está bien expuesta, este granito corresponde a un granito equigranular, de tamaño de grano de medio a grueso y ligeramente néisico en algunos sitios; cuya masa de 17 metros de largo por 4 de ancho, forma el Plutón de Pamplona (Ward *et al.*, 1973).

### 3. Metodología

El trabajo se realizó en las etapas de pre-campo, campo, laboratorio y oficina. Durante el pre-campo se recopiló y analizó la información existente de tipo cartográfico, documental (artículos, informes, ponencias en congresos, etc) con el objetivo de programar el trabajo de campo. En la etapa de campo se recolectaron muestras de las diferentes unidades y datos geológicos como contactos entre unidades, composición litológica, características composicionales, macroestructurales y texturales. La etapa de laboratorio consistió inicialmente en el análisis de las muestras recolectadas y su selección para la elaboración de secciones delgadas, las cuales se realizaron en el Laboratorio de Preparación de Muestras de la Escuela Geología de la Universidad Industrial de Santander. El análisis de las secciones delgadas se desarrolló en el laboratorio de Petrografía del grupo de investigación en Geología básica y aplicada (GIGBA) de la sede Guatiguará, mediante el uso de microscopios de luz transmitida de marca Leica, modelo DM-750P

y Nikon Labophot. El análisis petrográfico incluyó identificación y descripción de minerales, estudio microestructural, textural y análisis paragenético. En la etapa de oficina se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos. Las abreviaturas minerales usadas son las propuestas por Siivola, J y Schmid, R. (2007) en la Subcomisión en Sistemática de las rocas metamórficas de la Unión Internacional de Geociencias.

Tabla 1.

*Abreviaturas minerales*

Nombre del mineral	Abreviatura
Cuarzo	Qtz
Plagiolasa	Pl
Feldespato potásico	Kfs
Moscovita	Ms
Biotita	Bt
Clorita	Chl
Granate	Gr
Sillimanita	Sil
Hornblenda	Hbl
Epidota	Ep
Zoisita	Zo
Clinozoisita	Czo
Titanita	Ttn
Zircón	Zrn
Opacos	Op
Oxidos	Ox

Nota: Abreviaturas minerales para los minerales presentes en las rocas. Adaptado de Siivola, J y Schmid, R. (2007). Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web. List of Mineral Abbreviations. [www.bgs.ac.uk/scmr/home.html](http://www.bgs.ac.uk/scmr/home.html).

#### 4. Petrografía

Las rocas que afloran en el área de estudio son el resultado de un metamorfismo regional de alto grado de la facies anfibolita en la zona de la sillimanita (Figura 19), gran parte de estas rocas

muestran evidencias de un metamorfismo dinámico sobreimpuesto asociado a las Fallas Bábega y Cáraba y sus fallas satélites (Figura 3). Litológicamente, el Neis de Bucaramanga consta de rocas metamáficas (protomilonitas), metapelitas (milonitas y neises biotíticos) y metacuarzofeldespáticas (protomilonitas); los Esquistos del Silgará de rocas metapelitas (esquistos moscovítico y esquistos biotíticos con granate), el Ortoneis de rocas metapelíticas (protomilonitas) y el Granito de Durania de rocas de composición granítica.

A continuación, se presenta la localización del área de estudio (Figura 1) y la localización de las muestras analizadas (Figura 2).

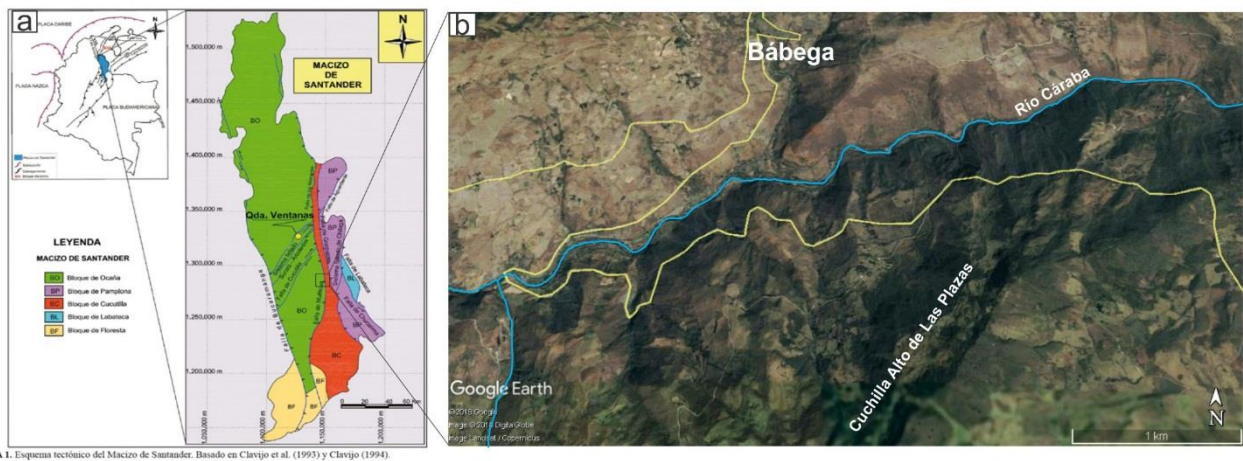


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Adaptado de Cruz et al. (2014). Consideraciones petrogenéticas y geocronología de las rocas ígneas porfiríticas aflorantes en la Quebrada Ventanas (Municipio Arboledas, Norte de Santander, Colombia) (a); Google Earth (b).

Nota: Localización de la zona delimitada por las coordenadas:  $X_1$ : 1'285.000 y  $X_2$ : 1'289.000 N;  $Y_1$ : 1'151.000 y  $Y_2$ : 1'155.000 W.

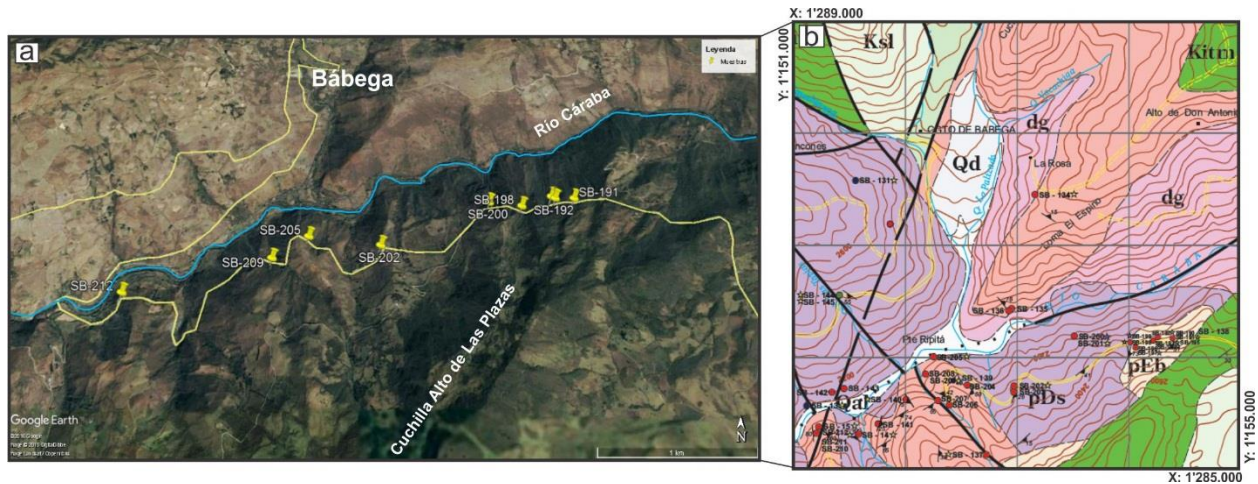


Figura 2. Localización de las muestras. Adaptado de Google Earth (a) ; Casadiegos y Castellanos (2016). Mapa geológico de Silos- Bábega, escala 1:25.000 (b).



Figura 3. Panorámica mostrando las fallas que afectan el área (Fallas Bábega y Cáraba).

A continuación, se presenta la composición mineralógica porcentual (Tabla 2) y la descripción petrográfica para las rocas de estas unidades.

Tabla 2.

*Composición mineralógica de las rocas aflorantes al sur de Bábege.*

UNIDAD	TIPO DE ROCA	LITOTIPO	N° MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL %																	
				Qtz	Pl	Kfs	Ms	Bt	Grt	Sil	Hbl	Ep	Zo	Czo	Ttn	Zrn	Op	Ox	Rt	TOTAL	
<b>Neis de Bucaramanga</b>	Metamáfica	Protomilonita	SB-191	25	35	5						22	7	2	2	1	1			100	
			SB-195	20	28	6		8				32	4		2						100
	Metacuarzo-feldespática	Protomilonita	SB-192	30	20	34	9	6										1			100
			SB-193	22	18	10		25	6	14							1	1	2	1	100
	Metapelita	Neis biotítico	SB-196	27	30		7	25										1	10		100
			SB-197	28	32			20					9	3	5	1	1	1			100
<b>Esquistos del Silgará</b>	Metapelita	Esquisto moscovítico	SB-198	25	10		35	21										4		5	100
			SB-200	35	18	13	15	10		4								1	3	1	100
			SB-202	28	20			35	10	5											2
<b>Ortoneis</b>	Metapelita	Protomilonita	SB-205	30	25	24		16										1	2	2	100
			SB-212	25	20	29		18					5						1	1	1

Nota: Composición cuantitativa de las muestras recolectadas en el presente estudio, las cuales se agrupan por litotipos en cada unidad.

## 4.1 Neis de Bucaramanga

Las rocas del Neis de Bucaramanga que afloran en la zona de estudio están constituidas composicionalmente por rocas metamáficas, metacuarzofeldespáticas y metapelitas que registran evidencias de intensos procesos deformativos, recristalización y recuperación; estas en su mayoría son rocas miloníticas derivadas de neises biotíticos, cuarzofeldespáticos y hornbléndicos. La paragénesis de pico metamórfico está dada por  $Pl + Qtz + Kfs + Bt \pm Sil \pm Grt$ . Por otro lado, el reemplazamiento de plagioclasa por sericita, calcita y epidota; de biotita por clorita; y de hornblenda por biotita indica la etapa de metamorfismo retrógrado para estas rocas.

### 4.1.1 Rocas metamáficas

Las rocas metamáficas de esta unidad afloran a 460 metros en dirección NS del río Cáraba, sobre la vía Bábege-Chitagá (Latitud  $7^{\circ} 10' 54,01''$  N, Longitud  $72^{\circ} 40' 47,59''$  W). Estas rocas corresponden a protomilonitas de características similares a neises hornbléndicos.

**4.1.1.1 Protomilonitas (SB-191, SB-195).** Rocas milonitizadas provenientes de neises hornbléndicos de color gris verdoso, con una variación del tamaño de grano de medio a grueso y de textura cataclástica; las cuales conservan aún su textura nematogranoblástica de predeformación; la muestra SB-195 presenta evidencias de una deformación dúctil más intensa. Estas rocas también registran una aparente deformación frágil. Por otro lado, presentan venillas de carbonatos y cuarzo que son concordantes y discordantes con la foliación de la roca. La composición mineralógica consta de cuarzo, plagioclasa, hornblenda, cuarzo, feldespato potásico, epidota, biotita, zoicita, clinozoicita, esfena y zircón.



*Figura 4.* Protomilonita proveniente de un neis hornbléndico que está siendo cortado por una pegmatita (SB-191).

La plagioclasa ocurre como individuos xenoblásticos a subidioblásticos y heteroblásticos con maclado polisintético sin orientación específica; algunos ocurren alargados y deformados con bordes corroídos, extinción ondulante y maclado mecánico debido a la deformación. Asociados a la hornblenda y al cuarzo. Presentan alteraciones a sericita y epidota; la sericita está recristalizando a moscovita.

El cuarzo ocurre como agregados constituidos por individuos xenoblásticos a subidioblásticos, alargados, disgregados y orientados concordantemente con la foliación de la roca; algunos se presentan en bandas con extinción ondulante, migración por borde de grano y recristalización parcial. Asociados a la biotita, la plagioclasa, la hornblenda y la epidota. La muestra SB-191 presenta un segundo tipo de cuarzo, el cual está relleno de venillas que cortan la foliación de la roca.

La hornblenda ocurre como individuos xenoblásticos a subidioblásticos, heteroblásticos, con inclusiones de cuarzo, esfena y zircón, maclados, deformados y alargados en la dirección de la foliación de la roca; en ocasiones con extinción ondulante. Asociados al cuarzo, la biotita, la plagioclasa y la epidota.

La biotita se presenta en la muestra SB-195 como agregados de color café constituidos por individuos de hábito laminar, asociados a la hornblenda, la plagioclasa, el cuarzo y la biotita.

La epidota se presenta como individuos xenoblásticos, heteroblásticos, fracturados con bordes corroídos, maclado mecánico y zonación en la parte central. Asociados al cuarzo, la hornblenda y la plagioclasa.

El feldespato potásico ocurre como individuos xenoblásticos, heteroblásticos, alargados, con bordes irregulares y maclado de tartán. Asociados a la plagioclasa, cuarzo y hornblenda. Presentan fuertes alteraciones fuertemente a sericita.

La zoicita se presenta en la muestra SB-191 como individuos subidioblásticos, heteroblásticos de geometría alargada, asociados a la biotita, la hornblenda y la plagioclasa. La clinozoicita se presenta como individuos xenoblásticos, heteroblásticos, fracturados y alargados con terminaciones irregulares, asociados a la hornblenda, cuarzo y plagioclasa. La titanita y el zircón están presentes como minerales accesorios, sin orientación específica y como inclusión en la plagioclasa y la hornblenda.

Las paragénesis principales de estas rocas corresponden a  $Pl + Qtz + Hbl + Ep \pm Zo \pm Czo$  (muestra SB-191) y  $Hbl + Pl + Qtz + Bt \pm Kfs. \pm Ep$  (muestra SB-195). El reemplazo parcial de hornblenda por biotita y clorita, y de plagioclasa por sericita indican la etapa retrógrada del metamorfismo.

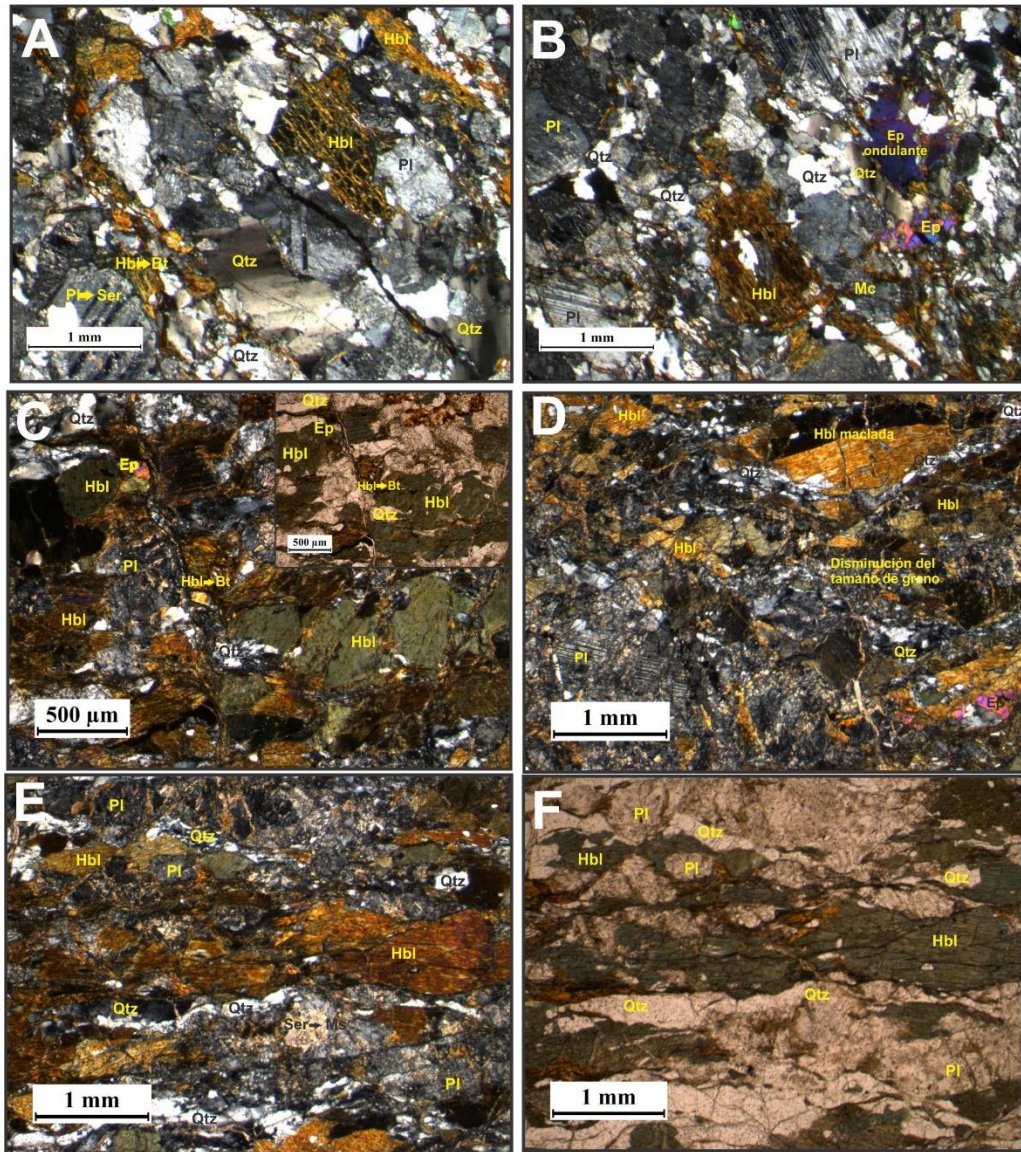


Figura 5. Microfotografía de las protomilonitas.

Nota: A y B. Disminución del tamaño de grano de los cristales como evidencia de una deformación frágil, el cuarzo alargado con extinción ondulante en la parte inferior es evidencia de una deformación dúctil. Se aprecia plagioclasa sericitizándose y hornblenda biotitizándose como resultado de la etapa retrógrada y epidota con extinción ondulante (SB-191). C. Hornblenda biotitizándose, con extinción ondulante y maclado, la matriz de la roca de grano fino de cuarzo y plagioclasa sericitizada (SB-195). E y F. Cristales deformados y alargados de hornblenda, bandeo de cuarzo (SB-195). (A-B-C-D-E): Nícoles cruzados. (F): Nícoles paralelos. Recuadros (C): Nícoles paralelos.

#### 4.1.2 Rocas metacuarzofeldespáticas

Las rocas de composición cuarzofeldespática de esta unidad corresponden a protomilonitas, que afloran a 420 metros del río Cáraba en dirección NS, sobre la carretera Bábege-Chitagá (Latitud  $7^{\circ} 10' 54,94''$  N, Longitud  $72^{\circ} 40' 52,15''$  W).

**4.1.2.1 Protomilonita (SB-192).** Roca con características similares un neis cuarzo feldespático de color amarillo grisáceo pálido, con una variación del tamaño de grano de fino a grueso. La roca registra alta deformación, reducción del tamaño de grano y recrystalización. La textura predominante es cataclástica, conservando aún su textura lepidogranoblástica de predeformación. Su composición mineralógica consta de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, moscovita, biotita y zircón.



*Figura 6.* Afloramiento de protomilonita proveniente de un neis cuarzofeldespático con buen desarrollo de la foliación. (Margen izquierdo de la carretera)

El cuarzo ocurre como agregado constituido por individuos xenoblásticos, heteroblásticos, deformados y alargados. Se presentan dos tipos de cuarzo: El tipo 1 como bandas con fuerte

extinción ondulosa, las cuales son concordantes con la foliación de la roca y rodean porfidoclastos de plagioclasa y feldespatos potásicos; este tipo presenta una incipiente recristalización bulging. El tipo 2 consta de individuos pequeños que hacen parte de la matriz de la roca. La plagioclasa ocurre como cristales xenoblásticos a subidioblásticos y heteroblásticos, con maclado polisintético y de carsbald. Debido a la deformación presentan maclado mecánico y migración de borde de grano. Se presentan dos tipos de plagioclasa: el tipo 1 ocurre como porfidoclastos y el tipo 2 haciendo parte de la matriz de la roca junto al cuarzo, la biotita y la moscovita.

El feldespato potásico ocurre como porfidoclastos subidioblásticos, heteroblásticos, alargados, maclados y dispuestos concordantemente con la foliación de la roca. Algunos exhiben maclado mecánico y exsoluciones de plagioclasa. Asociados al cuarzo, la plagioclasa, la biotita y la moscovita.

La moscovita se presenta haciendo parte de la matriz de la roca como agregados constituidos por individuos subidioblásticos, heteroblásticos, con extinción mosqueada y hábito laminar. Asociados con biotita, cuarzo 2, plagioclasa 1 y 2 y feldespato potásico. La biotita se presenta haciendo parte de la matriz de la roca como un agregado color café constituido por individuos xenoblásticos y heteroblásticos, orientados y asociados con la moscovita.

Como mineral accesorio se presenta el zircón, incluido en la plagioclasa y sin orientación preferente.

La paragénesis principal es  $Kfs + Qtz + Pl \pm Ms \pm Bt$ .

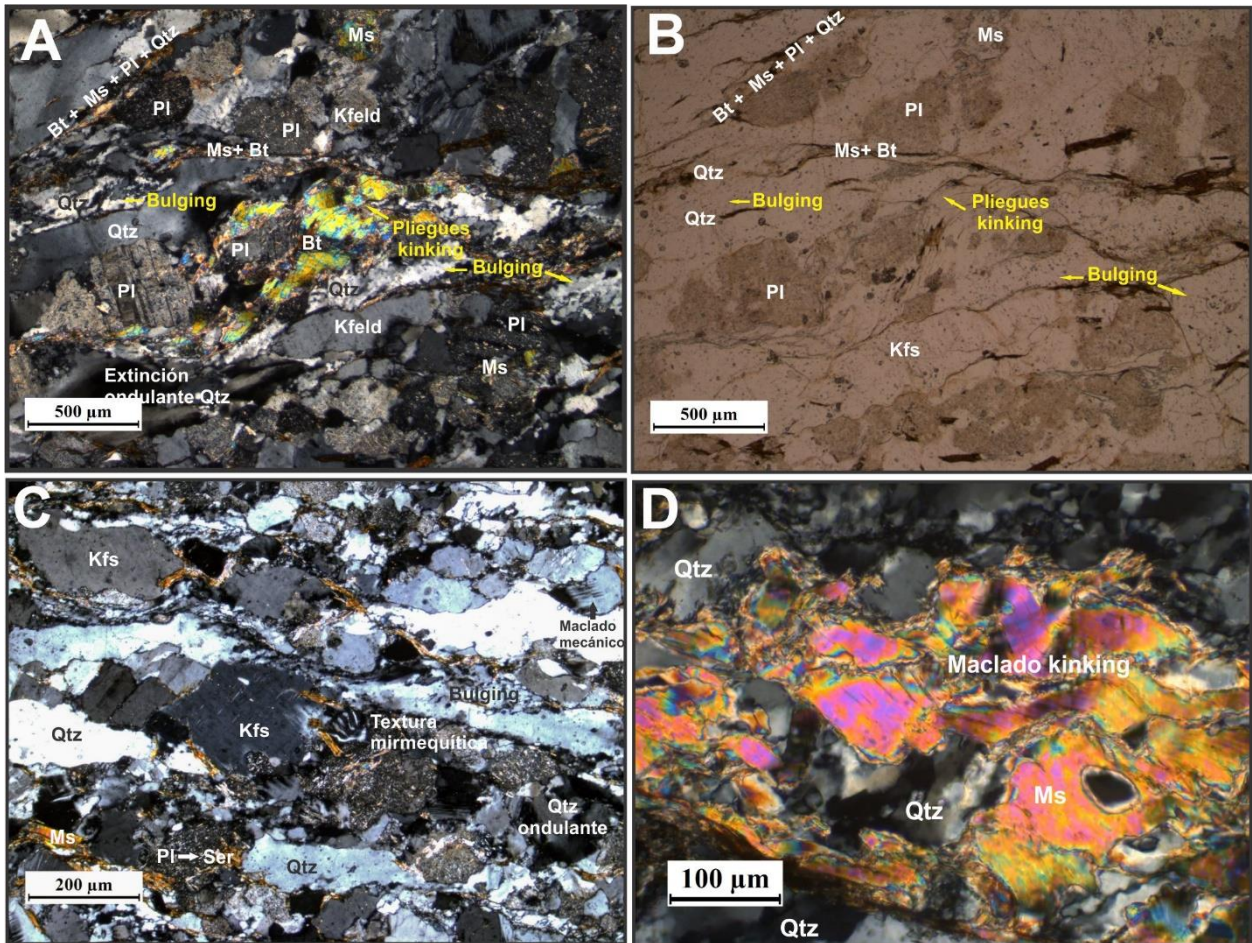


Figura 7. Microfotografías de las protomilonitas.

Nota: A y B. Evidencias de deformación dúctil y recristalización posdeformación en una matriz de cuarzo, plagioclasa y feldespato C. Bandas de cuarzo ondulante con recristalización tipo bulging y porfidoblastos de feldespato potásico con maclado mecánico. Localmente texturas mirmequiticas y pertiticas. D. Moscovita tipo kinking por deformación, con extinción mosqueada y ondulosa. (A-C-D): Nícoles cruzados. (B): Nícoles paralelos.

#### 4.1.3 Rocas metapelitas

Estas rocas están constituidas por mesomilonitas y neises biotíticos que afloran alrededor de 400 y 500 m del río Cáraba en dirección NS sobre la carretera Bábege-Chitagá, (Latitud 7° 10'

53,39'', Longitud 72° 40' 53,03'' y Latitud 7° 10' 51,57'', Longitud 72° 40' 58,40'') respectivamente.

**4.1.3.1 Mesomilonita (SB-193).** Roca milonítica de color gris-amarillento y de textura cataclástica, con características muy similares a un neis biotítico, el cual sufrió deformación dúctil. Presenta una disminución del tamaño del grano y recristalización. Su composición mineralógica consta de biotita, cuarzo, plagioclasa, sillimanita, feldespato potásico, granate, opacos, zircón, titanita y óxidos.

El cuarzo ocurre como agregados constituidos por individuos xenoblásticos, heteroblásticos, deformados y alargados, la mayoría exhibido en bandas ondulantes dispuestas concordantemente con la foliación de la roca y rodeando en asociación con la biotita porfidoclastos de feldespato potásico y plagioclasa. Se presenta una segunda generación de cuarzo, la cual ocurre en venillas discordantes con foliación de la roca.

La plagioclasa ocurre como porfidoclastos subidioblásticos, heteroblásticos, constituidos por la macla polisintética y la macla de carsbald. La mayoría presenta maclado mecánico y extinción ondulante producto de la deformación dúctil. Asociados a la biotita, el cuarzo 1 y el granate. Está alterando a sericita y calcita. Se presenta una segunda generación de plagioclasa alterada fuertemente a sericita, la cual ocurre rellenando venillas y asociada al cuarzo 2.

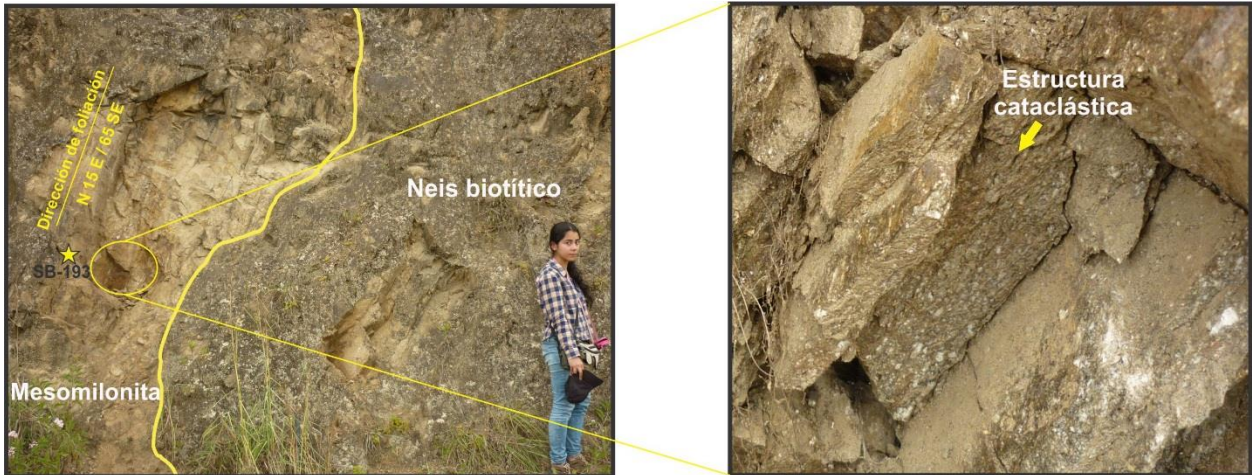


Figura 8. Contacto entre mesomilonita y neis biotítico.

Nota: Se observa el efecto de fallas satélites, derrumbes y orientaciones en la mesomilonita. (Margen izquierdo de la carretera).

La biotita ocurre como agregado de color café-rojizo intenso, constituido por individuos xenoblásticos alargados que constituyen la matriz de la roca y rodean a los porfidoclastos de plagioclasa y feldespato potásico. Su orientación preferente define la foliación de la roca. Asociada al cuarzo 1, la plagioclasa 1, la sillimanita y al granate. La sillimanita ocurre en la variedad prismática y fibrolítica como individuos heteroblásticos, subidioblásticos a idioblásticos, los cuales crecen a expensas de la biotita. La mayoría se disponen concordantes con la dirección de foliación de la roca, crecen dentro de la biotita, y alrededor de biotita, porfidoclastos de plagioclasa y feldespato potásico. Presenta fracturas que son rellenadas por sericita e inclusiones de zircón.

El feldespato potásico ocurre como porfidoclastos subidioblásticos, heteroblásticos, alargados y orientados en la dirección de la foliación de la roca, con maclado mecánico y extinción ondulante. Asociados al cuarzo 1 y la biotita. Presentan alteraciones a sericita.

El granate se presenta como porfidoclastos xenoblásticos, homeoblásticos, fracturados con bordes irregulares, con inclusiones de zircón y opacos. Asociados a la biotita, la sillimanita, el

feldespatos potásicos, plagioclasa 1 y el cuarzo 1. Los opacos se presentan orientados en la dirección de foliación de la roca y asociados al cuarzo 1, plagioclasa 1 y biotita. Como minerales accesorios están el zircón incluido en la sillimanita, la titanita y los óxidos asociados a la biotita.

La paragénesis de esta roca está dada por  $Pl + Kfs + Qtz + Bt \pm Gr \pm Sil$ ; el reemplazo parcial de feldespato potásico y de plagioclasa por sericita indica la etapa retrógrada del metamorfismo.

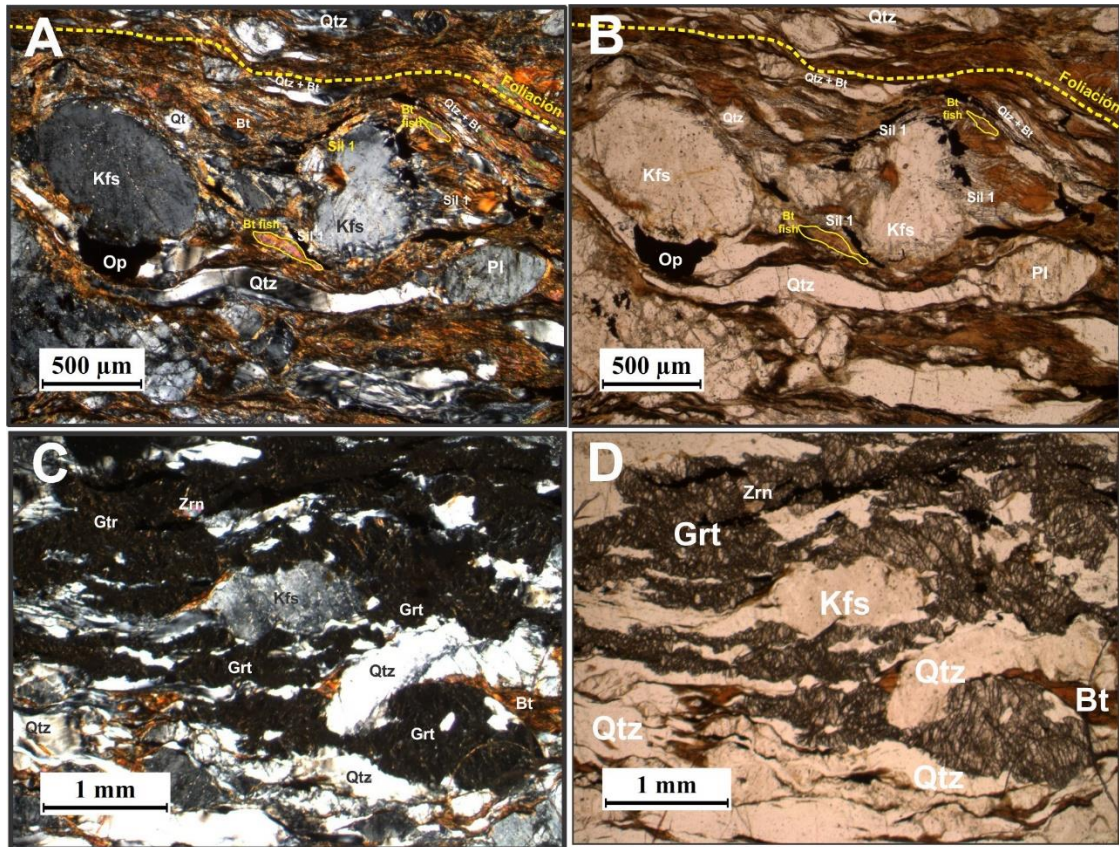


Figura 9. Microfotografías de la mesomilonita.

Nota: A y B. Porfidoclastos de feldespato potásico y plagioclasa rodeados por una matriz de biotita, sillimanita y cuarzo. La orientación de la biotita define la foliación de la roca; bandas de cuarzo con extinción ondulante concordantes con la foliación de la roca y micas tipo “fish”. C y D. Porfidoclastos de granate alargados asociado a la biotita, el feldespato potásico, plagioclasa y el cuarzo. (A-B-C): Nicoles cruzados. (D): Nicoles paralelos.

**4.1.3.2 Neises biotíticos (SB-196, SB-197).** Rocas de color gris amarillento pálido y verdoso de tamaño de grano medio a grueso con estructura néisica. Presentan textura lepidogranoblástica

(SB-196) y porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica (SB-197). Estas rocas exhiben venillas de cuarzo asociadas a calcita maclada. Su composición mineralógica consta de plagioclasa, cuarzo, biotita, moscovita, opacos, zircón, epidota, zoicita y clinozoicita.



Figura 10. Afloramiento de neises biotíticos con distinto grado de deformación.

Nota: Efecto del fallamiento (a). Neis biotítico con buen desarrollo de la foliación (b).

La plagioclasa ocurre como cristales xenoblásticos y heteroblásticos, con maclado polisintético y de Carsbald, extinción ondulante, bordes irregulares e inclusiones de moscovita, biotita y zircón. Asociados al cuarzo 1 y la biotita. En la muestra SB-197 ocurren dos tipos: El tipo 1 como porfidoblastos que constituyen dominios de microlitones y el tipo 2 haciendo parte de la matriz de la roca. Se observa un segundo tipo de plagioclasa en la muestra SB-196 el cual ocurre rellenando venillas asociado al cuarzo 2 y la calcita. La mayoría de cristales se encuentran alterados a sericita. El cuarzo ocurre como individuos heteroblásticos, xenoblásticos a subidioblásticos, concordantes con la foliación de la roca, en algunas ocasiones se presenta en bandas con fuerte extinción ondulosa y bordes irregulares. Asociados a la plagioclasa, la biotita y la epidota. Ocurre como porfidoblastos y haciendo parte de la matriz de la roca junto con plagioclasa y biotita (muestra SB-197). La muestra SB-196 presenta una segunda generación de cuarzo, la cual ocurre rellenando venillas discordantes con la foliación de la roca. La biotita ocurre como agregados de color marrón,

constituidos por individuos xenoblásticos, heteroblásticos con terminaciones irregulares y extinción mosqueada, se presenta en la roca formando la foliación y haciendo parte de la matriz; algunos individuos presentan deformación por kinking (SB-196). Asociados a plagioclasa, cuarzo, epidota y moscovita. La biotita permite el desarrollo de la sillimanita fibrolítica, debido a reacciones locales en donde la biotita actúa como catalizador (muestra SB-196). Posteriormente, se da el desarrollo de la clorita como resultado de un metamorfismo retrógrado.

La epidota se presenta en la muestra SB-197 como individuos incoloros, xenoblásticos y heteroblásticos con zonación, fracturamiento y maclado mecánico; asociados a la plagioclasa, biotita y cuarzo. Los minerales opacos se presentan como individuos subidioblásticos, heteroblásticos, algunos fracturados y con bordes angulares rectos. Asociados al cuarzo, plagioclasa y biotita. La moscovita ocurre haciendo parte de la matriz como individuos subidioblásticos, heteroblásticos con extinción mosqueada, la mayoría sin orientación específica en la roca. Asociados con plagioclasa y biotita. La clinozoicita y la zoicita se presentan en la muestra SB-197 como individuos xenoblásticos con geometría alargada, fracturados, algunos maclados y con bordes irregulares. Asociados al cuarzo, la plagioclasa y la biotita. Como minerales accesorios se encuentra la esfena y el zircón como inclusión en la plagioclasa, la biotita y el cuarzo.

Las paragénesis principales de estos neises son  $Pl_1 + Qtz_1 + Bt \pm Ms$  (muestra SB-196) y  $Pl + Bt + Qtz + Ep \pm Czo \pm Zo$  (muestra SB- 197); que indican las condiciones cercanas al pico metamórfico, la ocurrencia de sillimanita reemplazando biotita indica las condiciones máximas al pico de metamorfismo. La etapa retrograda es marcada por la formación de clorita a partir de biotita y sericita a partir de plagioclasa.

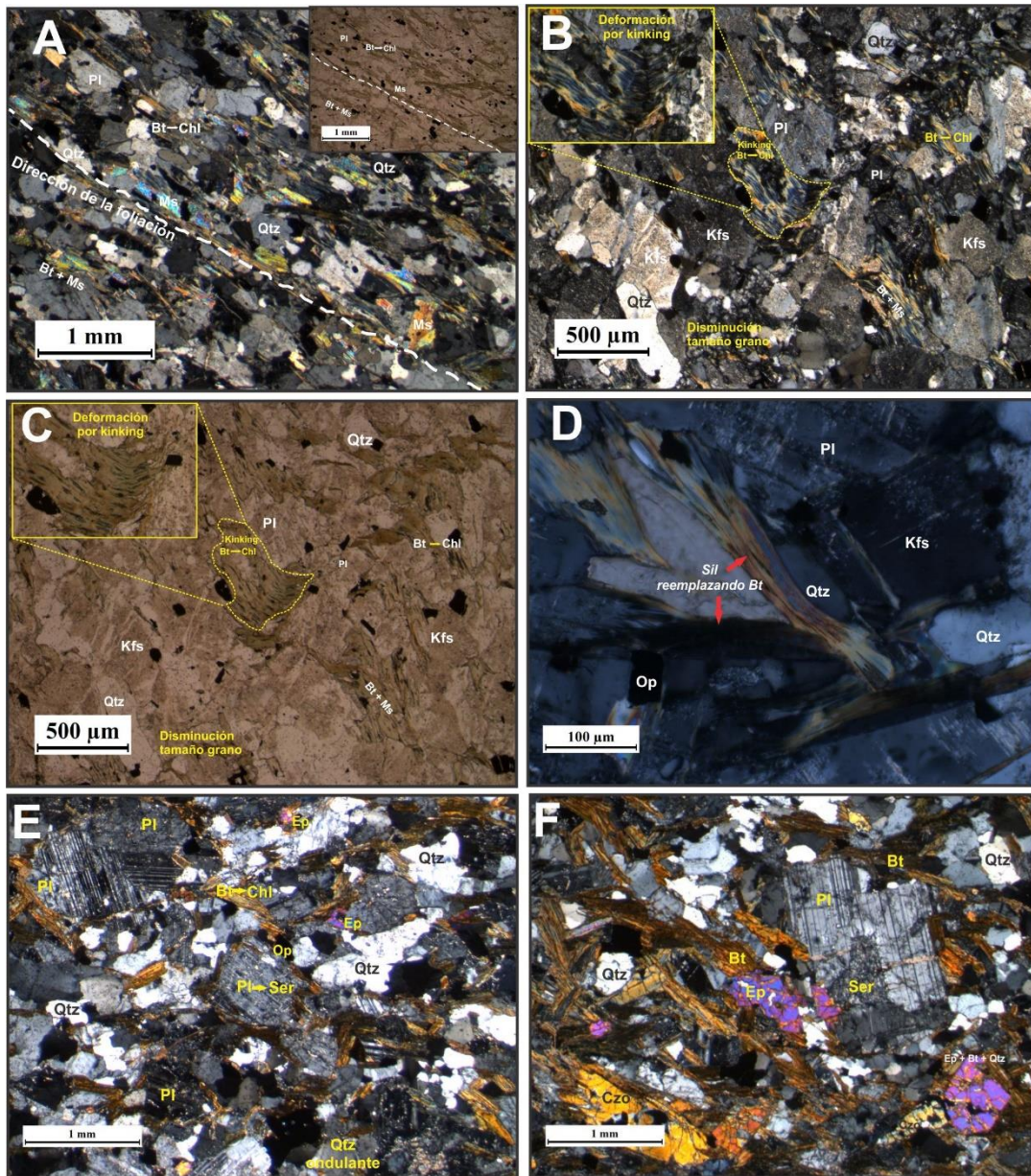


Figura 11. Microfotografías de neises biotíticos.

Nota: A. Foliación bien desarrollada y textura lepidogranoblástica (SB-196). B y C. Biotita tipo kinking debido a la deformación, la cual está alterando a clorita (SB-196). D. Biotita siendo reemplazada por sillimanita. (SB-196). E. Porfidoblasto de plagioclasa sericitizándose hacia los bordes alrededor de una matriz de cuarzo, plagioclasa, biotita con evidencias de recristalización posdeformación (SB-197). F. Textura porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica (SB-197). (A-B-D-E-F): Nícoles cruzados. (C): Nícoles paralelos. Recuadro (A-C): Nícoles paralelos.

## 4.2 Esquistos del silgará

Las rocas de los Esquistos del Silgará de la zona de estudio constan de esquistos metapelíticos de grano fino a muy fino de estructura moteada y en micropliegue; las cuales corresponden a un metamorfismo de alto grado (facies anfibolita en la zona de la sillimanita). La paragénesis de pico metamórfico está dada por  $Bt + Qtz + Pl \pm Gr \pm Sil$ . Las principales texturas de estas rocas son: granolepidoblástica, lepidogranoblástica y poiquiloblástica en una matriz granolepidoblástica.

### 4.2.1 Rocas metapelitas

Las rocas metapelíticas de los Esquistos de Silgará de la zona de estudio están constituidas por esquistos moscovíticos y esquistos biotíticos con granate. Los esquistos moscovíticos afloran a 480 metros del río Cáraba en dirección NS (Latitud  $7^{\circ} 10' 51,73 N''$ , Longitud  $72^{\circ} 41' 0,36'' W$ ; Latitud  $7^{\circ} 10' 52,58 N''$ , Longitud  $72^{\circ} 41' 8,11' W$ ) y los esquistos biotíticos afloran a 310 metros del río Cáraba en dirección NS (Latitud  $7^{\circ} 10' 40,99 N''$ , Longitud  $72^{\circ} 41' 34,01' W$ ).

**4.2.1.1 Esquistos moscovíticos (SB-198, SB-200).** Rocas de color verde amarillo grisáceo de tamaño de grano fino, con estructuras de micropliegue (muestra SB-198) y masiva (muestra SB-200); con buen desarrollo de esquistosidad. Presentan una textura granolepidoblástica (muestra SB-198) y una textura lepidogranoblástica (muestra SB-200). Mineralógicamente se encuentran constituidos por cuarzo, moscovita, biotita, plagioclasa, feldespato potásico, opacos y zircón



Figura 12. Afloramiento de esquisto moscovítico y muestra de mano.

Nota: Presenta una foliación N 5 W / 50 SW.

El cuarzo ocurre en individuos xenoblásticos, heteroblásticos, deformados con bordes suturados, extinción ondulante y recristalización por borde de grano. Asociados a la moscovita 1, la plagioclasa 1 y la biotita 1 formando microplegues (muestra SB-198); y a la moscovita, la plagioclasa, la biotita y al feldespato potásico (muestra SB-200). Se presenta una segunda generación de cuarzo relleno venillas. La moscovita ocurre en agregados constituidos por individuos xenoblásticos a subidioblásticos, heteroblásticos, con bordes corroídos y extinción mosqueada. En la muestra SB-198 se presentan formando microplegues (foliación  $S_n$ ) con biotita 1, cuarzo 1 y plagioclasa 1 y están siendo cortados por la biotita 2 (Post  $S_n$ ). La mayoría de cristales están recristalizando junto al cuarzo 1. Por otro lado, algunos cristales de moscovita se están desestabilizando permitiendo el desarrollo de la sillimanita, la cual ocurre en un agregado acicular fino; asociado al cuarzo, la biotita y la plagioclasa (muestra SB-200). La biotita ocurre en agregados conformados de individuos subidioblásticos; asociados al cuarzo, la moscovita y la plagioclasa (muestra SB-200). En la muestra SB-198 se presentan tres generaciones de biotita: la biotita 1, se presenta en agregado xenoblástico, heteroblásticos, con extinción mosqueada y terminaciones irregulares, formando la foliación  $S_n$ ; la biotita 2 (post  $S_n$ ), se presenta en agregados

de color marrón que cortan los micropliegues de cuarzo 1, plagioclasa 1, moscovita 1 y biotita 1; algunos cristales exhiben deformación kinking y están siendo reemplazados por sillimanita, la cual se presenta en agregados fibrolíticos, por último la biotita 3, ocurre relleno venillas asociada a opacos, óxidos, cuarzo y plagioclasa sericitizada. Estas generaciones de biotita presentan alteraciones a clorita. La sillimanita se presenta en agregado acular e incluida en el cuarzo y en ocasiones rodeándolo. Su desarrollo junto al del cuarzo se da a partir de la desestabilización de la moscovita y de la biotita. La plagioclasa ocurre en individuos xenoblásticos, heteroblásticos con maclado polisintético, inclusiones de óxidos y moscovita, algunos individuos exhiben maclado mecánico debido a la deformación de la roca; asociados a la biotita 1, la moscovita y al cuarzo 1. La mayoría de cristales están alterando a sericita y esta a su vez, está recristalizando a moscovita. La muestra SB-198 presenta una segunda generación de plagioclasa, la cual se dispone relleno venillas relacionada con la biotita 3, opacos, óxidos y cuarzo. El feldespato potásico se presenta en la muestra SB-200 como individuos subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos, con inclusiones de moscovita y biotita, constituidos por la macla de tartán. La mayoría de individuos exhiben maclado mecánico, extinción ondulante y textura perítica. Asociados a la plagioclasa, el cuarzo 1 y la biotita; con una alteración moderada a caolín.

Los minerales opacos ocurren en agregados conformado por individuos subidioblásticos, heteroblásticos asociados al cuarzo 1 y la plagioclasa (muestra SB-200) y al cuarzo 1, moscovita 1 y biotita 1 (muestra SB-198). El zircón se presenta como inclusión en el cuarzo y los óxidos se presentan como agregados granulares concordante con la foliación de la roca, en contacto con la biotita, la epidota y los minerales opacos.

La paragénesis principal de la muestra SB-198 consiste en  $Ms_1 + Bt_1 + Qtz_1 + Pl_1$  para la foliación  $S_n$  y en la muestra SB-200 la paragénesis principal es  $Qtz_1 + Pl + Ms + Mc + Bt \pm Kfs$ .

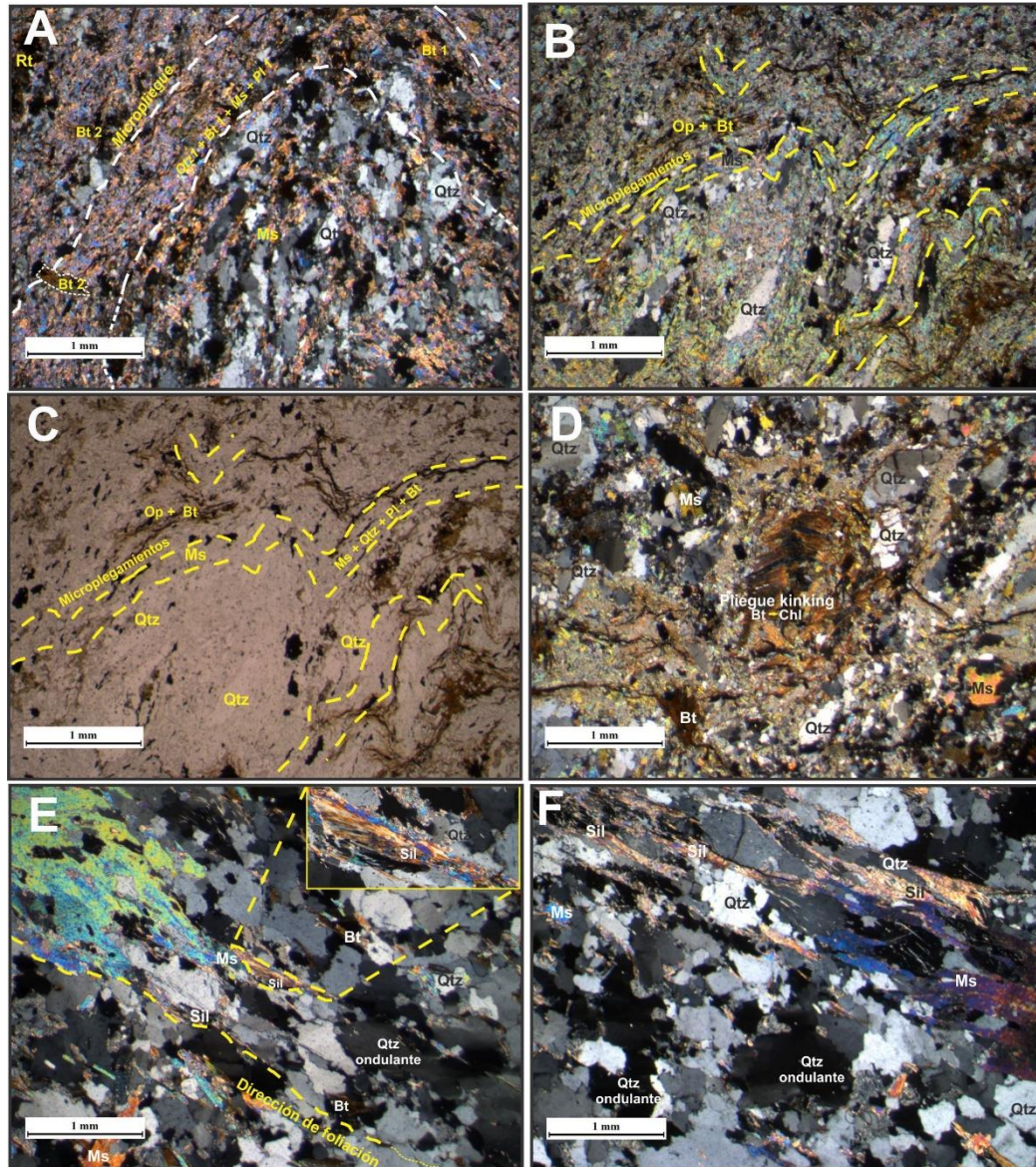


Figura 13. Microfotografías de los esquistos moscovíticos.

Nota: A. Microplegues de moscovita, biotita 1, cuarzo1 y plagioclasa 1 que constituyen la foliación  $S_n$ , cortados por la biotita 2 (SB-198). B y C. Esquistosidad bien desarrollada y textura granolepidoblástica (SB-198). D. Biotita tipo kinking como evidencia de la deformación dúctil (SB-198). E. Buen desarrollo de la esquistosidad, moscovita con extinción mosqueada y crecimiento de sillimanita por desestabilización de la moscovita (SB-200). F. Cuarzo con extinción ondulante e inclusiones de sillimanita (SB-200). (A-B-D-F): Nicoles cruzados. (C): Nicoles paralelos.

**4.2.1.2 Esquisto biotítico con granate (SB-202).** Roca de color gris azulado, de tamaño de grano muy fino y estructura moteada. La textura predominante de la roca es poiquiloblástica en una matriz granolepidoblástica. Su composición mineralógica consta de biotita, cuarzo, plagioclasa, sillimanita y porfidoblastos sintectónicos de granate. También presentan individuos de sillimanita post  $S_n$  que son discordantes con la foliación principal de la roca.



*Figura 14.* Afloramiento de esquisto biotítico con granate y muestra de mano.

Nota: La zona se encuentra muy cerca a las fallas Bábeaga y Cáraba y sus satélites. (Margen izquierdo de la carretera).

La biotita ocurre como individuos de color marrón, subidioblásticos, homeoblásticos, formando la foliación de la roca y haciendo parte de la matriz. Asociados al cuarzo, la plagioclasa y al granate.

El cuarzo ocurre como individuos xenoblásticos, homeoblásticos, deformados y alargados. Asociado a la biotita, la plagioclasa y al granate; también como inclusión en el granate. Se presenta una segunda generación de cuarzo, el cual ocurre rellenando venillas que son concordantes con la foliación de la roca. La plagioclasa se presenta en agregados xenoblásticos, heteroblásticos, algunos con la macla polisintética. Asociada a la biotita, el cuarzo, el granate y la sillimanita

haciendo parte de la matriz de la roca. La mayoría de individuos están alterando fuertemente a sericita.

El granate ocurre como porfidoblastos xenoblásticos, heteroblásticos con inclusiones de cuarzo y biotita, estas inclusiones son continuas con la foliación externa (porfidoblastos sintectónicos). Asociados con el cuarzo, la sillimanita, la plagioclasa y la biotita constituyendo la foliación principal de la roca ( $S_n$ ). La sillimanita prismática se presenta en agregados xenoblásticos, heteroblásticos, deformados con bordes irregulares. Se distinguen dos tipos de sillimanita: el tipo 1 ocurre siguiendo la foliación de la roca; el tipo 2 se presenta discordante con la foliación principal de la roca (individuos post  $S_n$ ). El rutilo se presenta como mineral accesorio dispuesto concordantemente con la foliación de la roca; asociado a la biotita y el cuarzo.

La paragénesis principal es  $Bt + Qtz + Pl \pm Grt \pm Sil$ . La etapa retrograda es marcada por la formación de sericita a partir de plagioclasa.

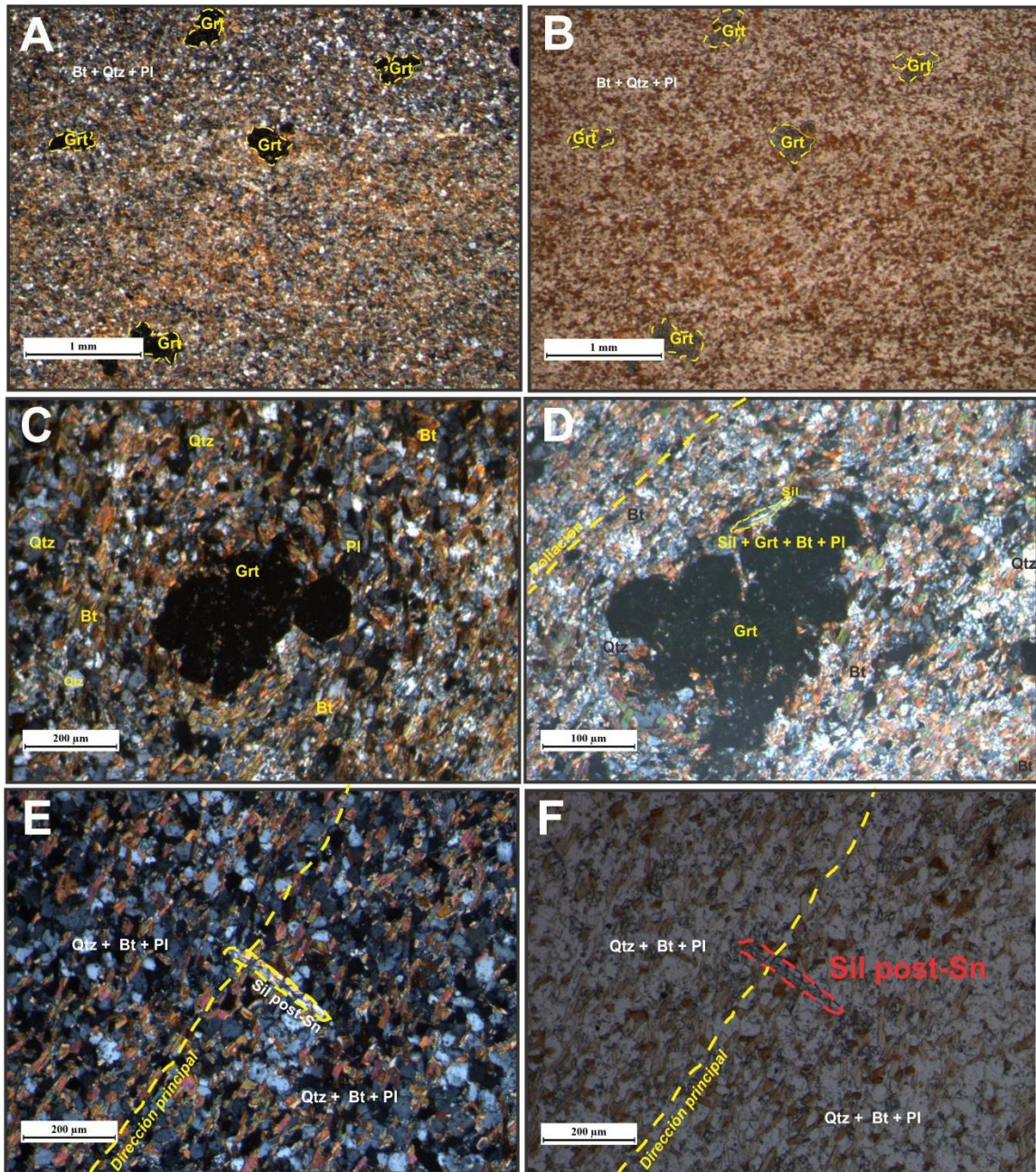


Figura 15. Microfotografías de esquistó biotítico con granate.

Nota: A y B. Textura poiquiloblástica en una matriz granolepidoblástica constituida por biotita, sillimanita, cuarzo y plagioclasa. C. Porfidoblastos sintectónicos de granate. D. Porfidoblasto de granate con inclusiones de cuarzo y biotita, también se aprecia la ocurrencia de sillimanita concordante con la foliación de la roca. E y F. La foliación S<sub>n</sub> de la roca cortada por individuos post S<sub>n</sub> de sillimanita discordante. (A-C-D-E): Nicoles cruzados. (B-F): Nicoles paralelos.

### 4.3 Ortoneis

Las rocas de la unidad Ortoneis presentes en la zona de estudio consta de protomilonitas de composición metapelítica. De acuerdo con las características texturales estas rocas han sufrido deformación dúctil, con evidencias de deformación frágil y de recrystalización. El protolito del ortoneis alcanzó un alto grado metamórfico (zona de la sillimanita en facies anfibolita) al emplazarse de forma sintectónica en los Esquistos del Silgará. La paragénesis principal es  $Bt + Qtz + Kfs \pm Ep$ ; la cual indica las condiciones cercanas al pico metamórfico. Las máximas condiciones para estas rocas son evidenciadas por el crecimiento de sillimanita.

#### 4.3.1 Rocas metapelitas

Las rocas metapelíticas del ortoneis de la zona de estudio afloran aproximadamente a 200 metros del río Cáraba en dirección NS (Latitud  $7^{\circ} 10' 42,91''$  N, Longitud  $72^{\circ} 41' 50,96''$  W; y Latitud  $7^{\circ} 10' 28,49''$  N, Longitud  $72^{\circ} 42' 32,17''$  W).

**4.3.1.1 Protomilonitas (SB-205, SB-212).** Rocas protomiloníticas provenientes de neises biotíticos, los cuales debido a la deformación han sufrido disminución de tamaño de grano y una posterior recrystalización. Presentan una textura dominante cataclástica, y localmente presentan texturas mirmequíticas y pertíticas. Se aprecia el dominio de microlitones de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y los dominios de clivaje definidos por la biotita. Además, la roca presenta una foliación espaciada de forma grosera, con una relación espacial anostomosada.

El desarrollo de venillas de carbonatos es favorecido por la deformación de la roca; las cuales son discordantes con la orientación de foliación de la roca y se disponen de forma interconectada.

Su composición mineralógica general consta de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita, epidota, zircón, opacos y óxidos.



Figura 16. Afloramiento de protomilonita y muestra de mano con buen desarrollo de la foliación.

El cuarzo ocurre como individuos subidioblásticos, heteroblásticos, muy deformados, con extinción ondulante, lamelas de deformación y disminución del tamaño de grano. Presentan inclusiones de zircón y moscovita, asociados a la plagioclasa, el feldespato potásico y la biotita, algunos cristales presentan textura mirmequítica. Se presentan como porfidoblastos formando microlitones, y haciendo parte de la matriz de la roca; además, se presenta una segunda generación de cuarzo, la cual está relleno de venillas discordantes con la foliación de la roca. La plagioclasa ocurre como individuos subidioblásticos, heteroblásticos constituidos en su mayoría por la macla polisintética de la albita, algunos presentan maclado mecánico, extinción ondulante, disminución del tamaño de grano, recristalización y una incipiente migración de borde de grano. Presentan inclusiones de zircón, biotita y moscovita, asociados al cuarzo, la biotita y el feldespato potásico. Se distinguen dos tipos de plagioclasa: El tipo 1 como porfidoblastos formando microlitones, y

haciendo parte de la matriz. Gran parte de los individuos están alterando a sericita desde el núcleo hacia los bordes.

El feldespato potásico ocurre como individuos subidioblásticos, heteroblásticos, deformados con maclado de tartán, algunos individuos presentan maclado mecánico, extinción ondulante y textura pertítica; asociados a la biotita, la plagioclasa y el cuarzo. Presentan alteraciones moderadas a sericita y están dispuestos concordantemente con la dirección de foliación de la roca. La biotita ocurre en agregados color marrón, constituido por individuos heteroblásticos alargados con extinción mosqueada que forman la foliación de la roca. Presentan inclusiones de moscovita y cuarzo. Asociados al cuarzo, la plagioclasa y el feldespato potásico. Algunos individuos presentan recristalización posdeformación y una deflexión de la foliación debido al empuje de los cristales de plagioclasa y cuarzo que están recristalizando. Algunos individuos están siendo reemplazados por sillimanita, la cual se desarrolla en bandas de cizallamiento; en la muestra 205 los individuos están alterando a clorita.

La epidota presente en la muestra SB-212, ocurre como individuos, xenoblásticos, heteroblásticos, de tamaños variados con geometrías ovaladas y tabulares. Se encuentra asociado a la biotita y al cuarzo. El zircón, los óxidos y los minerales opacos se presentan como minerales accesorios incluidos en el cuarzo y la plagioclasa. Asociados a la biotita, al cuarzo y la plagioclasa.

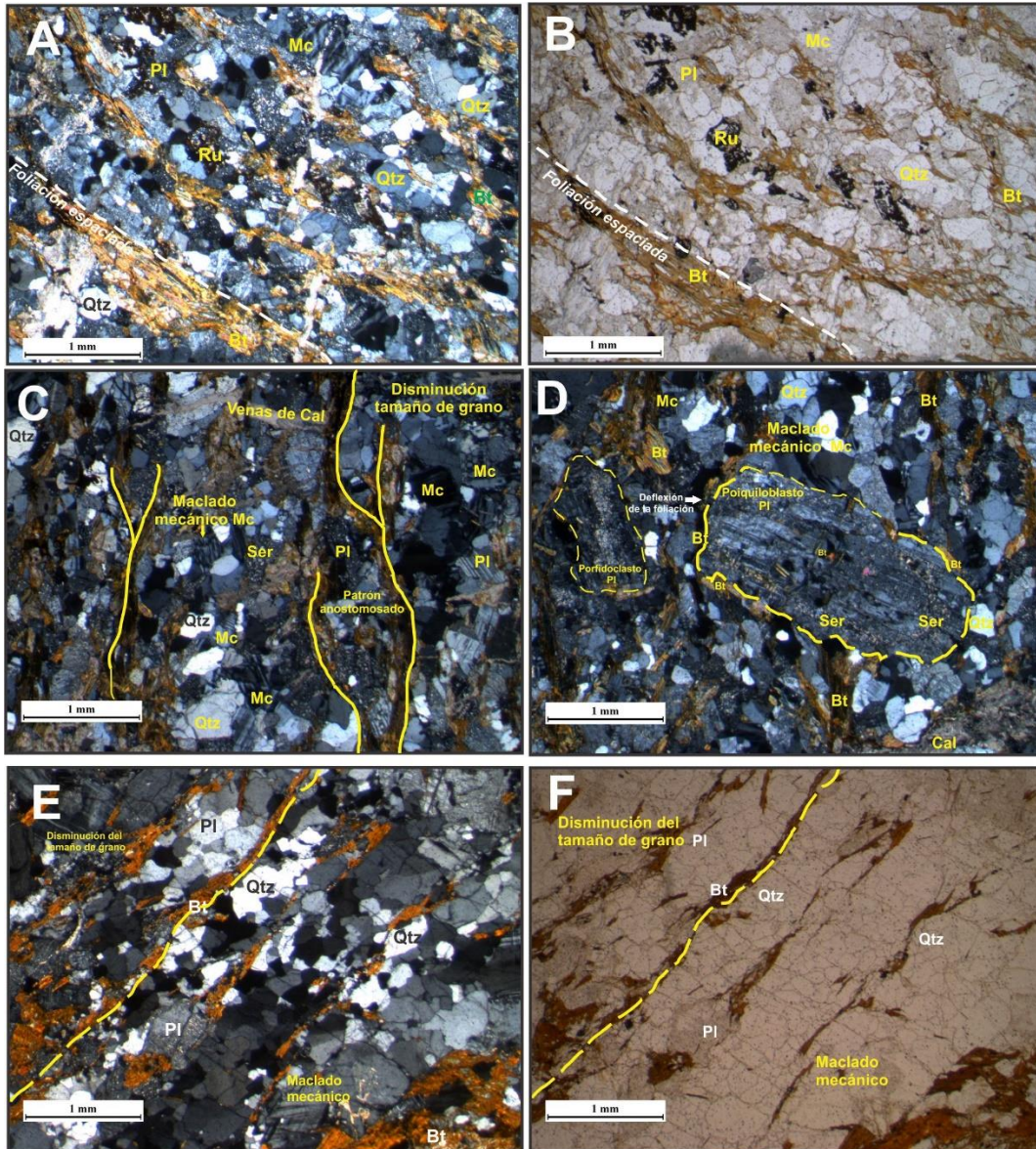


Figura 17. Microfotografías de protomilonitas de composición biotítica

Nota: A y B: Dominios de microlitones dados por el cuarzo, la plagioclasa y el feldespato potásico y dominios de clivaje definidos por la biotita (SB-205). C: Foliación espaciada definida por la biotita de forma grosera con una relación espacial anostomosada; disminución del tamaño de grano y maclado mecánico generados por deformación (SB-205) D: Porfidoclastos de plagioclasa rodeados de biotita, la cual experimenta una mínima deflexión de la foliación debido a los cristales de plagioclasa, recristalización posdeformación (SB-205). E y F: Foliación bien desarrollada y textura lepidogranoblástica, disminución de tamaño de grano y recristalización posdeformación (SB-212). (A-C-D-E): Nícoles cruzados. (B-F): Nícoles paralelos.

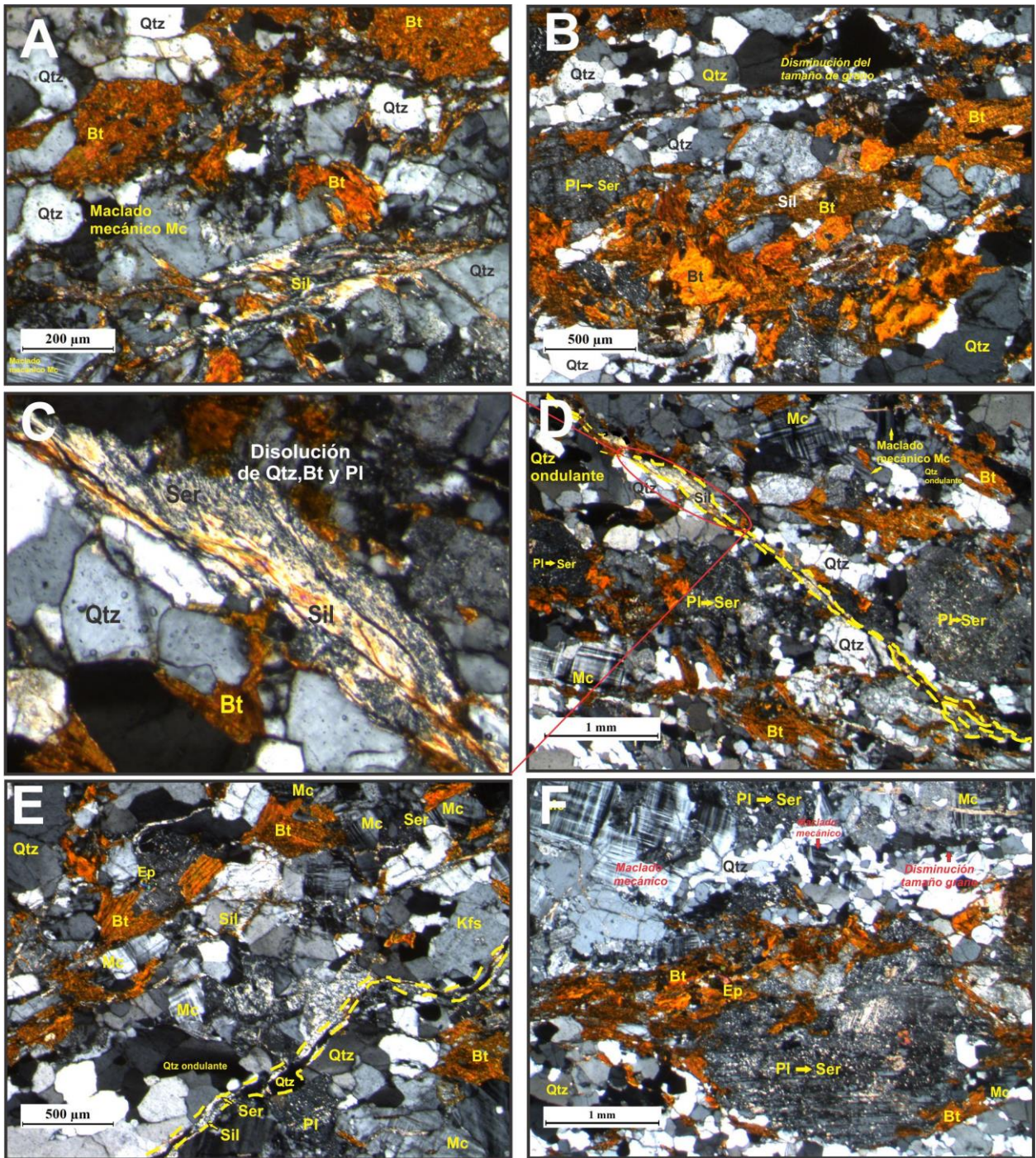


Figura 18. Microfotografías de protomilonitas de composición biotítica.

Nota: A. Sillimanita en bandas de cizallamiento. B. Desarrollo de sillimanita y sericita a partir de biotita y plagioclasa, respectivamente. C y D. Banda de cizallamiento con sillimanita y sericita; disolución de cuarzo, plagioclasa y sericita. E. Bandas de cizallamiento constituidas de sillimanita, sericita y cuarzo. F. Porfidoclasto de plagioclasa sericitizándose rodeado por biotita.

A continuación, se muestra una estimación de las condiciones P-T para las muestras analizadas:

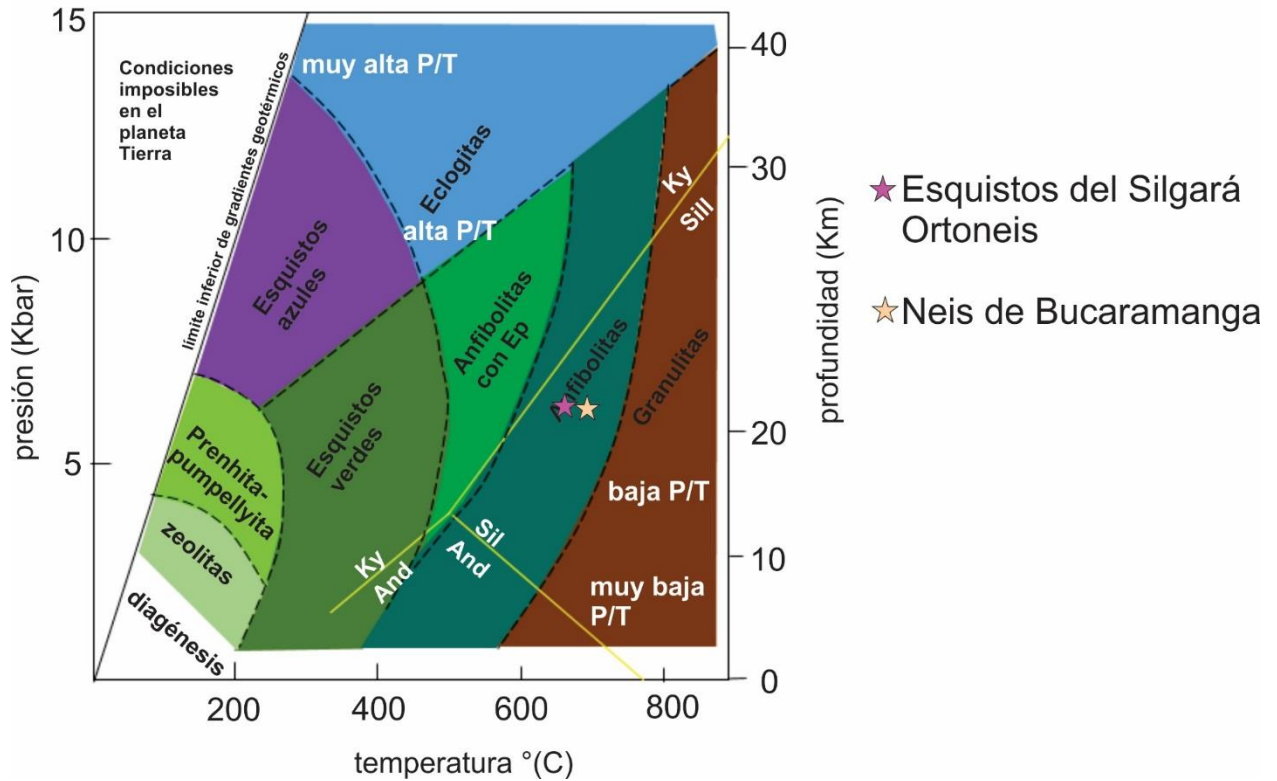


Figura 19. Diagrama P-T mostrando las condiciones estimadas para las rocas aflorantes al sur de Bábege. Adaptado del Departamento de mineralogía y petrología, Universidad Nueva Granada.

#### 4.4 Granito de Durania

El Granito de Durania se encuentra intruyendo a las rocas metamórficas aflorantes al sur de Bábege. Este granito aflora a 470 metros del río Cáraba en dirección NS, sobre la carretera Bábege-Chitagá (Latitud 7° 10' 37,35'' N, Longitud 72° 41' 59,10'' W).

#### 4.4.1 Granito (SB-209)

Roca ígnea plutónica compacta de textura fanerítica, leucocrática, holocristalina, con cristales equigranular de tamaño de grano fino, constituida mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa, microclina, feldespato potásico, moscovita, biotita, epidota, zircón y opacos. Presenta algunas alteraciones, plagioclasa y feldespato potásico a sericita, feldespato potásico a caolín, y biotita a clorita. La roca presenta venillas de calcita que son producto de un evento posterior. De acuerdo con el diagrama QAPF (Strekeisen, 1979), esta roca corresponde a un granito.

Los cristales de plagioclasa son equigranulares, constituidos por la macla polisintética, asociados al cuarzo y la microclina y se encuentran alterando fuertemente a sericita. El cuarzo se presenta como cristales equigranulares, con bordes redondeados a subangulares, asociados a la moscovita, el feldespato potásico y la plagioclasa. Los cristales de feldespato potásico son equigranulares, constituidos por la macla de tartán, y en algunos casos exhiben maclado mecánico, presentan inclusiones de biotita cloritizada. Altera en algunas ocasiones a caolín. Los cristales equigranulares de biotita están alargados; asociados al cuarzo y la plagioclasa en contacto neto. La mayoría de cristales de biotita están alterando a clorita. La moscovita inequigranular está asociados a la biotita, el cuarzo y la plagioclasa

La epidota y los minerales opacos, se presentan en este granito como minerales accesorios y son cristales equigranulares que están asociados al cuarzo y a la plagioclasa

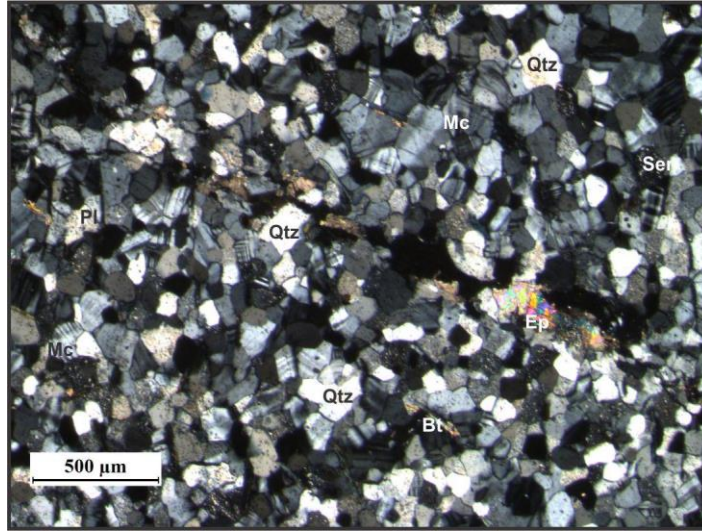


Figura 20. Microfotografías del Granito de Durania. Nicoles cruzados.

## 5. Discusión de resultados

Las rocas metamórficas aflorantes al sur de Bábeга presentes en el Macizo de Santander pertenecen al Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará y al Ortoneis, los resultados obtenidos en este trabajo indican que dichas rocas alcanzaron la facies anfíbolita en la zona de la sillimanita; con un metamorfismo dinámico sobreimpuesto relacionado a la acción de las fallas Cábara, Bábeга y sus fallas satélites.

El Neis de Bucaramanga se constituye de protomilonitas, mesomilonitas y neises biotíticos. La litología reportada en el presente estudio es consistente con García *et al.* (2005), pero difiere con Amaya (2012) quien reporta la presencia de migmatitas en el extremo norte del Macizo de Santander y hacia el centro y sur del mismo; y con Urueña (2014) quien reporta neises migmatíticos, anfíbolitas y cuarcitas en la zona occidental y central del Macizo de Santander. Las condiciones de metamorfismo alcanzadas por el Neis de Bucaramanga en la zona de estudio son consistentes con las reportadas por García *et al.*, (2005), Cordani *et al.*, (2005) y Amaya (2010) pero difieren con las reportadas por Urueña (2014) quien reporta condiciones de facies granulita.

La franja Silos-Bábega presenta similitudes microestructurales con las reportadas por Urueña *et al.*, (2011) en la franja Cepitá-Berlín-Vetas, que corresponden a rocas con estructura néisica de grano medio a grueso con bandeamiento composicional, y microestructuras de recristalización originadas por eventos posteriores al metamorfismo. De manera general, las rocas de esta unidad presentan bajos contenidos de moscovita, lo cual indicaría un sistema que contenía bajas proporciones de agua según Urueña *et al.* (2011).

Los Esquistos del Silgará constan de esquistos moscovíticos y esquistos biotíticos con granate, los cuales alcanzaron la facies anfibolita en la zona de la sillimanita. Los resultados obtenidos en este estudio, difieren con los reportados por Casadiegos (2016) quien afirma que hacia el sector Silos-Bábega los Esquistos del Silgará se constituyen de esquistos cuarzo-micáceos y micáceos con estaurolita-cianita-granate, cuarcitas con estaurolita y granate y mármoles que fueron metamorfoseadas en condiciones de la facies esquistos verdes en la zona de la biotita, y la facies anfibolita en la zona de la estaurolita-cianita; así mismo, difiere con Arenas (2015), quien reporta hacia el municipio de Silos cuarcitas micáceas con cianita, esquistos cuarzomicáceos con granate, estaurolita y cianita y mármoles que alcanzaron condiciones correspondientes a la facies anfibolita en la zona de la cianita-almandino. Estas diferencias podrían explicarse por la acción de las fallas presentes.

La ocurrencia de la sillimanita en los Esquistos del Silgará al igual que en el Neis de Bucaramanga se da a expensas de la biotita e indica las máximas condiciones alcanzadas por estas rocas; adicional a esto, los Esquistos del Silgará presentan otro tipo de desarrollo para la sillimanita, el cual difiere en cuanto a procesos de formación; dicho desarrollo es explicado por Gómez (2006), quién afirma que podría darse por la desestabilización de la moscovita.

El Ortoneis está constituido por rocas de deformación dúctil (protomilonitas), de composición similar a neises biotíticos que alcanzaron la facies anfibolita en la zona de la sillimanita. Esto se contrapone con lo estudiado por García *et al.* (2017) en la Franja Silos-Bábega, en donde se reportan neises cuarzofeldespáticos con biotita y hornblenda y neises cuarzofeldespáticos con biotita y moscovita que alcanzaron la facies anfibolita. Así mismo con Rey (2016) quien reporta neises hornbléndicos, anfibolitas, neises biotíticos, moscovíticos y biotíticos con sillimanita que alcanzaron la facies anfibolita, zonas de la Estaurolita-Cianita y Sillimanita (parte baja de la zona) en los sectores Pamplona, Mutiscua, Berlín-Ranchadero-Silos.

En el Ortoneis la ocurrencia de sillimanita se da en bandas de cizallamiento y representa las condiciones máximas alcanzadas para estas rocas. El desarrollo de sillimanita y sericita, como producto del reemplazamiento de la biotita y del feldespato, pudo darse posiblemente por la acción de fluidos sindeformacionales. Esta ocurrencia es similar a la reportada por Musumeci (2002), en donde la sillimanita en bandas de cizallamiento se genera durante un emplazamiento que se dio sincrónicamente dentro de una zona de cizalla, ocurriendo así una variación de la presión que favorece el desarrollo de sillimanita dado en presencia de fluidos sindeformacionales ácidos, que interactúan con los minerales del protolito para obtener nuevas asociaciones.

## 6. Conclusiones

Las rocas metamórficas aflorantes al sur de Bábega, son rocas de alto grado metamórfico que corresponden a diferentes eventos de metamorfismo regional; orogenias Grenvilliana y Famatiniana (Cordani *et al.*, 2005; Mantilla *et al.*, 2016) pero que coincidentalmente presentan iguales condiciones de metamorfismo (facie de anfibolita en la zona de la sillimanita).

El Neis de Bucaramanga está conformado por rocas metamáficas (protomilonitas), cuarzofeldespáticas (protomilonita) y metapelitas (mesomilonita y neises biotíticos), cuya paragénesis principal está dada por  $Pl + Qtz + Kfs \pm Bt \pm Sil \pm Grt$ . Las texturas de estas rocas son cataclásticas, a excepción de los neises biotíticos que presentan una textura porfidoblástica en una matriz lepidogranoblástica.

Las rocas de los Esquistos del Silgará están constituidas por metapelitas (esquistos moscovíticos y esquisto biotítico con granate). La paragénesis principal para estos esquistos es  $Bt + Qtz + Pl \pm Gr \pm Sil$ . Las principales texturas de estas rocas son; granolepidoblástica, lepidogranoblástica y poiquiloblástica en una matriz granolepidoblástica.

La presencia de sillimanita en las rocas del Neis de Bucaramanga y de los Esquistos del Silgará permitieron identificar las máximas condiciones para estas rocas (pico metamórfico). En este caso la biotita actúa como catalizador que acelera la reacción de formación de la sillimanita, en donde la biotita es reemplazada por sillimanita debido a que se precipita por reacciones locales en otros sitios de la roca (Foster, 1991).

Las rocas del Ortoneis corresponden a metapelitas (protomilonitas), las cuales presentan características similares a un neis biotítico, en donde el crecimiento de sillimanita fibrolítica y sericita se presenta en planos de debilidad. La paragénesis principal está dada por  $Bt + Qtz + Kfs \pm Ep$ , en donde la presencia de sillimanita representa las máximas condiciones. La textura dominante de estas rocas es cataclástica, y localmente son apreciadas texturas mirmequíticas y pertíticas de predeformación.

De acuerdo con las características texturales y mineralógicas de las rocas de estudio, estas han sufrido procesos de deformación dúctil evidenciados por la presencia de maclas de deformación (maclado mecánico y de kinking), creep de dislocación (cristales con extinción ondulante y

lamelas de deformación), creep de disolución (sombras de presión), la presencia de una foliación marcada que en su mayoría exhibe una desviación alrededor de porfidoclastos en una matriz de tamaño de grano más fino; seguidos de procesos de recuperación y recristalización,

## **7. Recomendaciones**

Extender el área de estudio con el fin de observar y analizar la prolongación de las unidades estudiadas en el presente trabajo.

Precisar la cartografía de la zona generando una a mayor escala.

Realizar estudios geocronológicos que permitan determinar las edades de las rocas analizadas, con el fin de corroborar la evolución geológica en el sector.

Realizar estudios geotermobarométricos para establecer condiciones P-T de metamorfismo de las rocas metamórficas aflorantes en la zona de estudio.

### Referencias Bibliograficas

- Amaya, S. (2012). Caracterización Petrográfica y Petroológica de los Neises, Migmatitas y Granulitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamento de Santander. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento Geociencias. Bogotá, Colombia.130 p.
- Arenas, C. (2015). Geología del sector de Silos-Bábega, Macizo de Santander. (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, Bucaramanga, Colombia.
- Casadiegos L. (2017). Metamorfismo de la Unidad Esquistos del Silgará del Macizo de Santander en el sector de Silos, Norte de Santander. (tesis de pregado). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, Bucaramanga, Colombia.
- Casadiegos y Castellanos (2016). Mapa geológico de Silos- Bábega, escala 1:25.000 (trabajo de grado)
- Castellanos, M. (2017). Metasedimentitas de Silos: Ocurrencia, caracterización y metamorfismo (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología, Bucaramanga, Colombia.

Castellanos, O., Ríos, C., García, C. (2016). Occurrence of chloritoid –bearing metapelitic rocks and their significance in the metamorphism of the Silgará Formation at the Central Santander Massif. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 40 (5), 5-15.

Foster, C., (1991). The role of biotite as a catalyst in reaction mechanisms that form sillimanite. *Canadian Mineralogist*, (29), 943-963.

Chinner, G. A., (1961) The Origin of Sillimanite in Glen Clova, Angus. *Journal of Petrology*, 2 (3), 312-323.

Cordani, U.; Cardona, A.; Jiménez, D.; Liu, D.; Nutman, A. (2005). Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants from a fragmented grenville belt. In Terrane processes at margins of Gondwana (Vaughan, A.P.M.; Leat, P.T.; Pankhurst, R.J.; editors). *Geological Society of London, Special Publications* 246 (1), 329-346.

Cruz, N; Carrillo, J; Mantilla, L. (2014). Consideraciones petrogenéticas y geocronología de las rocas ígneas porfiríticas aflorantes en la Quebrada Ventanas (Municipio Arboledas, Norte de Santander, Colombia); implicaciones metalogénicas. *Boletín de Geología*, 36(1), 103-118.

- García, C., Ríos, C., A., Castellanos, O. (2005). Medium- pressure, metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*, 27, (2), 43-68, Bucaramanga.
- García, C., Rey, V., Valencia, V. (2017). Ortoneises en la Franja Silos-Bábega, Macizo de Santander, Colombia: evidencias de orogenia fannatiniana en los Andes del norte. *Andean Geology*, 44 (3), 307-327.
- Gómez, J. (2016). Metamorfismo- Apuntes de la asignatura Petrología Endógena II (Módulo I).
- Goldsmith, R., Marvin, R., Mehnert, H. (1971). Radiometric ages in The Santander Massif, Eastern Corillera, Colombian Andes. *Geological Survey Research*, 750 (D), D44-D49.
- Van Der Lelij, R.; Spikings, R.; Ulianov, A.; Chiaradia, M.; Mora, A. (2015). Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research* (31), 271-294.
- Mantilla, L., García, C., y Valencia, V. (2016). Propuesta de escisión de la denominada “Formación Silgará” (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38 (1), 33- 50.

- Mantilla-Figueroa, L. C., Valencia, V. A., Barra, F., Pinto, J., & Colegial, J. (2009). Geocrología U-Pb de los cuerpos porfíricos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto de Santander, Colombia). *Boletín de Geología*, 31(1).
- Passchier, W., Trow, J., Wiersma, J. (2010). Atlas of Mylonites and related microstructures. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ríos, C; García, C; Takasu, A. (2003). Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Elservier*, 16 (2), 133-154.
- Rey, V. (2015). Estudio de las rocas de la unidad Ortoneis en el Macizo de Santander: Consideraciones petrológicas y geoquímicas. Trabajo de grado (geólogo). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, Bucaramanga, Colombia.
- Restrepo, P. (1995). 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, Department of Geosciences. 199p.
- Royero, J., y Clavijo, J. (2001). Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS. 91p.

Siivola, J y Schmid, R. (2007). Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: List of Mineral Abbreviations. Recuperado de: [www.bgs.ac.uk/scmr/home.html](http://www.bgs.ac.uk/scmr/home.html)

Urueña, C y Zuluaga, C. Petrografía de Neis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetas-Santander. (2011). *Geología Colombiana*, 36 (1), 37-55. Recuperado de: [www.revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/)

Urueña, C. (2014). Metamorfismo, Exhumación y Termocronología del Neis de Bucaramanga. (Macizo de Santander, Colombia). (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia.

Ward, D., Goldsmith R., Cruz, J., y Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. Departamento de Santander. *Boletín Geológico*, XXI (1-3), 144p.