

Estructura termal de las rocas metamórficas pre-Devónicas aflorantes en el área comprendida entre las veredas de San Pedro y Cantabara, municipio de Aratoca

Fabián Camilo Bonilla Quintero

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director

Leonardo Palmera Sánchez

Geólogo, MSc

Codirector

Luis Carlos Mantilla Figueroa

Geólogo, PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2025

### **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres, Alberto y Magda, porque a pesar de que las circunstancias no siempre fueron las más favorables, dieron su máximo esfuerzo por mi bienestar y no permitieron que nada me hiciera falta, a nivel material y emocional. Gracias a ellos soy la persona que soy y he tenido la oportunidad de llegar hasta donde estoy ahora.

A mis tíos, especialmente a Mabel y a Franklin, quienes han sido el apoyo más grande para nuestra familia durante los momentos más complicados, y han observado mi camino muy de cerca desde que era un niño.

A Juana, mi compañera de vida, ya que gracias a su protección y su constancia todo me parece más sencillo, y me brinda la confianza que a veces me hace falta para aspirar a ser cada día mejor en lo que hago.

A Jainer y Robinson, por su amistad incondicional, que en muchos momentos me distrajo de mis preocupaciones.

A mis mentores, los profesores Leonardo Palmera y Luis Carlos Mantilla, quienes, por medio de su guía indispensable, sus discusiones, acompañamiento y consejos me han alentado a afrontar esta etapa sin miedo, a confiar en mi trabajo y a no perder el foco.

A los estudiantes de la asignatura Campo II, cuyo trabajo realizado durante los últimos años nos ha aportado tanto a mis tutores como a mí información crucial para el desarrollo de este proyecto.

Por último, agradezco a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y al Laboratorio de Rayos X por su apoyo con los análisis de Difracción de Rayos X a los trabajos de grado sin financiamiento externo.

**Tabla de contenido**

1	Introducción .....	11
2	Objetivos .....	13
2.1	Objetivo general .....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	Localización .....	14
4	Marco teórico .....	15
4.1	Antecedentes y marco geológico.....	15
5	Metodología .....	20
5.1	Pre-campo .....	20
5.2	Trabajo de campo .....	20
5.3	Trabajo de laboratorio .....	21
5.3.1	Descripción petrográfica macroscópica .....	21
5.3.2	Análisis petrográfico .....	21
5.3.3	Análisis de Difracción de Rayos X (DRX) .....	21
5.4	Análisis de resultados.....	22
5.5	Elaboración del informe final.....	22
6	Resultados .....	23
6.1	Relaciones litológicas.....	23
6.1.1	Sector Tierra Blanca.....	23

ESTRUCTURA TERMAL DE LAS ROCAS DE ARATOCA	4
6.1.2 Sector El Pomarroso.....	24
6.1.3 Sector San Pedro .....	26
6.2 Análisis mineralógico-petrográfico.....	28
6.2.1 Filitas moscovíticas .....	30
6.2.2 Esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita.....	31
6.2.1.1 Sector Tierra Blanca. ....	31
6.2.1.2 Sector El Pomarroso. ....	32
6.2.1.3 Sector San Pedro. ....	34
6.2.3 Esquistos moscovíticos con granate.....	36
6.2.4 Esquistos biotíticos-hornbléndicos.....	37
6.2.5 Esquistos biotíticos.....	39
6.2.6 Análisis de Difracción de Rayos X (DRX).....	41
7 Discusión.....	43
7.1 Condiciones de metamorfismo.....	43
7.1.1 Sector Tierra Blanca.....	43
7.1.2 Sector El Pomarroso.....	45
7.1.3 Sector San Pedro .....	46
7.1.4 Eventos tectónicos post-metamorfismo .....	47
8 Conclusiones .....	52
9 Recomendaciones.....	55

Referencias bibliográficas..... 56

**Lista de tablas**

Tabla 1. Ubicación y análisis llevados a cabo en las muestras estudiadas .....	22
Tabla 2. Litotipos y sus principales características.....	29
Tabla 3. Composición mineralógica de las muestras analizadas .....	29

**Lista de figuras**

Figura 1. Localización de los puntos de estudio .....	14
Figura 2. Mapa geológico generalizado de la región suroccidental del Macizo de Santander, modificado de Ward <i>et al.</i> (1973).....	19
Figura 3. Estación FCB-01 .....	24
Figura 4. Estación FCB-02 .....	25
Figura 5. Estación FCB-03 .....	27
Figura 6. Estación FCB-06 .....	28
Figura 7. Características petrográficas de las filitas .....	30
Figura 8. Características petrográficas de los esquistos (FCB-01-A).....	32
Figura 9. Características petrográficas de los esquistos (FCB-02-C).....	34
Figura 10. Características petrográficas de los esquistos (FCB-03).....	35
Figura 11. Vena hidrotermal de barita .....	36
Figura 12. Características petrográficas de los esquistos moscovíticos con granate .....	38
Figura 13. Características petrográficas de los esquistos biotíticos-hornbléndicos.....	39
Figura 14. Características petrográficas de los esquistos biotíticos.....	41
Figura 15. Difractograma (Muestra FCB-01-A).....	42
Figura 16. Difractograma (Muestra FCB-07-A).....	43
Figura 17. Diagrama P-T-XFe representando la asociación Kfs-Ms-Bt-Chl .....	45
Figura 18. Modelo 3D de la zona de estudio y su relación con la Falla de Bucaramanga .....	51

**Lista de Apéndices**

Apéndice A: Descripción petrográfica de las muestras analizadas ..... 63

## Resumen

**Título:** Estructura termal de las rocas metamórficas pre-Devónicas aflorantes en el área comprendida entre las veredas de San Pedro y Cantabara, municipio de Aratoca (sector SW del Macizo de Santander, Colombia). \*

**Autor:** Fabián Camilo Bonilla Quintero \*\*

**Palabras Clave:** Petrografía, estructura termal, rocas metamórficas, Aratoca, Macizo de Santander

**Descripción:** En el área de estudio, localizada entre las veredas de San Pedro y Cantabara (municipio de Aratoca, Santander) afloran rocas del basamento metamórfico del Macizo de Santander, agrupadas dentro de la denominada unidad Esquistos del Chicamocha (unidad escindida de la Unidad Esquistos del Silgará), considerada de edad pre-Devónica. Estas rocas metamórficas pertenecen al grupo composicional pelítico, representado por cuarzo, plagioclasa, moscovita, biotita y granate como principales minerales metamórficos. Las asociaciones paragenéticas identificadas, sugieren una disminución concéntrica del pico de metamorfismo desde el Río Chicamocha (zona granate-estauroлита) hacia la Mesa de San Pedro (zona de la biotita). Sin embargo, en este último sector se reconocen esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita suprayaciendo a filitas. Evidencias de metamorfismo de dislocación apuntan a una clara estructura termal invertida al sur de la Mesa de San Pedro. Desde el punto de vista estructural, se reconocen dos fallas que modifican la estructura termal del sector SW del Macizo de Santander: La Falla Tierra Blanca, cuya actividad pre-Jurásica causó el cabalgamiento de los esquistos sobre las filitas en el sector de la Mesa de San Pedro, y la Falla Guaimaral, que pone en contacto esquistos biotíticos milonitizados con esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita al NW, sobre el carretable Aratoca-Jordán.

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Leonardo Palmera Sánchez. Geólogo, MSc. Codirector: Luis Carlos Mantilla Figueroa. Geólogo, PhD.

### Abstract

**Title:** Thermal structure of the pre-Devonian metamorphic rocks outcropping in the area between San Pedro and Cantabara, municipality of Aratoca (SW Santander Massif, Colombia). \*

**Author:** Fabián Camilo Bonilla Quintero \*\*

**Keywords:** Petrography, metamorphic zoning, metamorphic rocks, Aratoca, Santander Massif

**Description:** In the study area, located between the villages of San Pedro and Cantabara (municipality of Aratoca, Santander), rocks of the metamorphic basement of the Santander Massif are exposed, grouped within the so-called Chicamocha Schist unit (unit split from the Silgará Schist unit), which is considered to be of pre-Devonian age. These metamorphic rocks belong to the pelitic compositional group, represented by quartz, plagioclase, muscovite, biotite and garnet as main metamorphic minerals. The identified paragenetic associations suggest a concentric decrease of the peak metamorphic conditions from the Chicamocha River (garnet-staurolite zone) towards the Mesa de San Pedro (biotite zone). However, in this last sector, quartz-muscovite schists with biotite overlying phyllites are identified. Evidence of dynamic metamorphism points to a clear inverted thermal structure south of the Mesa de San Pedro. From a structural point of view, two faults are recognized that modify the thermal structure of the SW sector of the Santander Massif: The Tierra Blanca Fault, whose pre-Jurassic activity caused the thrusting of the schists over the phyllites in the sector of the Mesa de San Pedro, and the Guaimaral Fault that contacts biotite-bearing mylonitized schists with biotite-bearing quartz-muscovite schists to the NW, on the Aratoca-Jordan road.

---

\*Bachelor's Thesis

\*\*Faculty of Physico-Chemical Engineering, School of Geology. Supervisor: Leonardo Palmera Sánchez. Geologist, MSc. Co-supervisor: Luis Carlos Mantilla Figueroa. Geologist, PhD.

## 1 Introducción

El presente documento es el resultado de un trabajo de investigación llevado a cabo en el sector comprendido entre las veredas de San Pedro y Cantabara, en el municipio de Aratocha (Santander). Con este proyecto se ofrece un aporte a la discusión científica sobre la evolución tectono-metamórfica del sector suroccidental del Macizo de Santander, al estudiar las condiciones de metamorfismo de las rocas aflorantes pertenecientes a la unidad Esquistos del Silgará en el área de estudio mencionada y establecer relaciones de temporalidad respecto a posibles eventos tectónicos posteriores al evento de metamorfismo regional Fammatiniano.

En términos generales, las rocas metamórficas en la región suroccidental del Macizo de Santander corresponden a rocas metapelíticas, representadas por esquistos pelíticos de grano fino y metamáficas, por esquistos biotíticos-hornbléndicos (Ríos, 2001). De acuerdo con Ríos (2001), el grado metamórfico regional disminuye hacia el sur desde el área de Pescadero hasta el área de La Mesa de San Pedro, a través de una secuencia de zonas metamórficas (silimanita, cianita, estaurolita, granate, biotita). Sin embargo, Carvajal (2014) describe una secuencia de filitas suprayacidas por esquistos micáceos con granate cortados por venas de cuarzo boudinadas, e intruídas por un dique de riolita caolinizado y confinado al contacto fallado entre litologías en el sector de Tierra Blanca (al sur de la Mesa de San Pedro), municipio de Aratocha. Esto sugiere una estructura termal invertida entre las zonas del granate y de la clorita a lo largo de una franja no inferida ni reportada anteriormente, que a su vez contrastaría con la zonación metamórfica concéntrica descrita por Ríos (1999), García y Ríos. (1999), Ríos (2001) y Ríos *et al.* (2003) para el sector suroccidental del Macizo de Santander.

Según Bucher & Grapes (2011), las zonas de la clorita, biotita y granate de la serie Barroviense pertenecen a la facie esquistos verdes, y sus temperaturas comprenden un rango de

entre 300°C y 500°C. Respecto a esto, sobre la franja Pescadero - Aratoca se han evaluado las condiciones P-T para cada zona de metamorfismo, arrojando temperaturas máximas de 495°C-518°C y presiones de 4.5-5.5 kbar en la zona del granate (Ríos *et al.*, 2003). Teniendo en cuenta que en la mayoría de las zonas la tasa de incremento de la temperatura con la profundidad es de 30°C/km (Earl, 2019), es posible inferir que los esquistos en el sector de Tierra Blanca estuvieron enterrados a una profundidad aproximada de 17 km, mientras que las filitas posiblemente se encontraban a 10 o incluso 13 km. En consecuencia, la inversión de esta diferencia de al menos 4 km en la corteza implicaría un colapso importante en el paleo-orógeno posterior al metamorfismo, a partir del cual surgen incógnitas relacionadas con la posibilidad de un evento tectónico subsiguiente al evento Orogénico Fammatiniano, cuyos efectos no se han reportado (o dimensionado, en términos de escala) en el Macizo de Santander.

Este estudio surge a raíz de la necesidad de profundizar a partir del trabajo de Carvajal (2014), en el cual el autor propone una estructura termal invertida con base en las observaciones de campo realizadas en el sector de la Mesa de San Pedro. Como resultado, evidencias estratigráficas y de metamorfismo de dislocación en esquistos aflorantes en el sector de Tierra Blanca permitieron la identificación de una falla cuya actividad pre-Jurásico Temprano invirtió la secuencia metamórfica al sur de la Mesa de San Pedro. Este hallazgo abre la oportunidad de estudiar a esta inversión termal como un posible efecto local de la Orogenia Alleghaniana a finales del Paleozoico (cuya herencia tectónica ha sido poco estudiada en la Cordillera Oriental, considerando), o investigar una posible relación con la actividad de la Falla de Bucaramanga en el Mesozoico Temprano, descrita por Kammer & Sánchez (2006).

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Estudiar las condiciones de metamorfismo asociadas a la estructura termal y la zonación metamórfica de las rocas pertenecientes a la Unidad Esquistos del Silgará (*s.l.*), aflorantes en el sector comprendido entre las veredas de San Pedro (sector de Tierra Blanca) y Cantabara (municipio de Aratocha).

### 2.2 Objetivos específicos

Describir y estudiar las relaciones de contacto entre litologías de bajo (zona de la biotita) y medio-alto grado metamórfico (zonas del granate y de la estaurolita), sus propiedades a nivel macro y mesoscópico, por medio de una visita de campo en el área de estudio.

Determinar la paragénesis y la facie a la cual pertenecen las litologías descritas en campo a través de un análisis petrográfico textural, microestructural y mineralógico; de esa forma inferir condiciones de presión y temperatura.

Precisar la mineralogía y la temporalidad asociada al contexto paragenético de las rocas objeto de estudio mediante el análisis de Difracción de Rayos X (DRX).

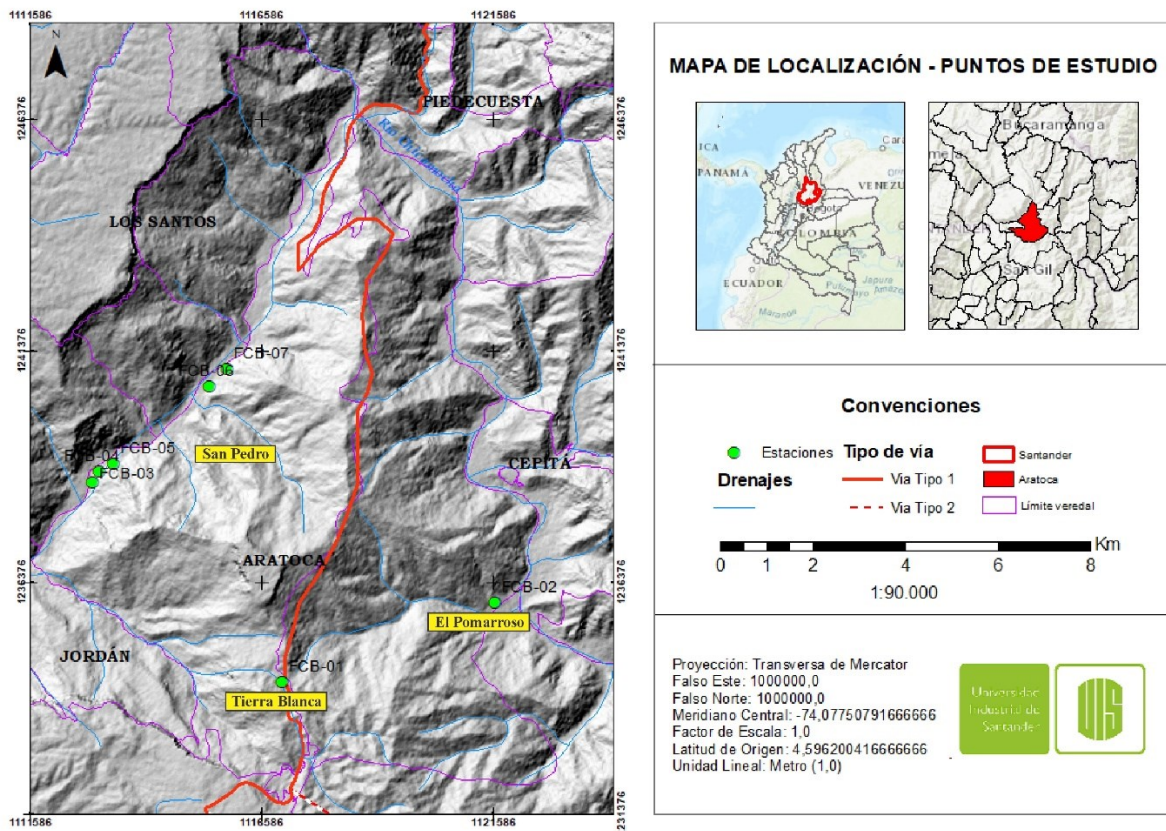
Redefinir y proponer los cambios pertinentes en la estructura termal del sector suroccidental del Macizo de Santander partiendo de la información de la zona disponible en la bibliografía, sumada al desarrollo de los objetivos anteriores.

### 3 Localización

El área de estudio se encuentra en el municipio de Aratoaca. Este proyecto tiene contemplado el estudio de siete estaciones, repartidas entre las veredas de San Pedro y Cantabara. Las estaciones se agruparon en tres sectores: El sector Tierra Blanca, ubicado frente al mirador homónimo, sobre la vía principal Piedecuesta-Aratoaca; el sector El Pomarroso, ubicado sobre un carreteable con el mismo nombre en el límite entre las veredas de San Antonio y Cantabara; y el sector San Pedro, ubicado en el límite occidental de dicha vereda sobre un carreteable que comunica los municipios de Aratoaca y Jordán (Figura 1). Geológicamente, la zona de estudio se ubica en el sector suroeste del Macizo de Santander.

**Figura 1**

*Localización de los puntos de estudio*



*Nota.* Modelo digital de elevación tomado de Alaska Satellite Facility (ASF) (2011). Base cartográfica tomada del IGAC (2014).

## 4 Marco teórico

### 4.1 Antecedentes y marco geológico

Con el propósito de contextualizar la zona de estudio expuesta anteriormente, se presentan a continuación los rasgos geológicos más importantes, que a su vez se encuentran ligados con los objetivos de este trabajo.

El área de estudio se encuentra en el dominio tectónico de la subplaca Continental Central (CCSP), dentro del terreno Proterozoico Chicamocha, en el cual se incluye la Cordillera Oriental, de acuerdo con la división litotectónica y morfoestructural de Cediel *et al.* (2003), y en el terreno Chibcha, según la división realizada por Restrepo y Toussaint (2020). La Cordillera Oriental de Colombia está conformada por los Macizos de Garzón, Quetame, Floresta y de Santander (de sur a norte, respectivamente), en los cuales se encuentra expuesto el basamento ígneo-metamórfico, constituido principalmente por rocas metamórficas pre-Devónicas y rocas ígneas de edad pre-Cretácica (Restrepo & Toussaint, 1988; Case *et al.*, 1990; Cooper *et al.*, 1995; Restrepo-Pace *et al.*, 1997). La zona de interés comprende el sector suroccidental del Macizo de Santander, cuyo basamento cristalino corresponde a un complejo metamórfico pre-Devónico (Goldschmidt *et al.*, 1971), constituido por las siguientes unidades; las rocas más antiguas pertenecen al Neis de Bucaramanga, asociado a la Orogenia Grenvilliana (Restrepo-Pace *et al.*, 1997; Cordani *et al.*, 2005) o Putumayo (en términos de Ibáñez *et al.*, 2011) del Mesoproterozoico-Neoproterozoico. En segundo lugar, se encuentran los Esquistos del Silgará (unidad escindida en Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro sobre la franja Piedecuesta-Aratoca según Mantilla *et al.*, 2016)

y el Ortoneis, relacionados con la Orogenia Fammatiniana del Ordovícico, también llamada Quetame-Caparonensis (Restrepo-Pace & Cediel, 2010; Mantilla *et al.*, 2012).

La Unidad Esquistos del Silgará fue inicialmente definida por Ward *et al.* (1973) como “Formación Silgará”, y se describió como una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, las cuales se distribuyen en dos fajas principales, una entre los municipios de Matanza y Cachirí, y otra más extensa y angosta entre Piedecuesta y Aratoca. Esta última franja se encuentra en la región suroccidental del Macizo de Santander, y consta de esquistos de composición pelítica (micaesquistos y micaesquistos con feldespato potásico), semipelítica (esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos cuarzosos, cuarcitas feldespáticas, cuarcitas con feldespato y moscovita y cuarcitas moscovíticas) y máfica (esquistos biotíticos-hornbléndicos), afectados por un metamorfismo Barroviense, que desarrolló una secuencia de zonas metamórficas (biotita, granate, estaurolita-cianita y sillimanita), la cual representa una disminución en el grado metamórfico regional hacia el sur desde el área de Pescadero hasta el área de la Mesa de San Pedro (Castellanos *et al.*, 2004; Ríos, 2001).

Aunque la principal fuente de información sobre la Unidad Esquistos del Silgará (nomenclatura en el sentido de Clavijo, 1994) se deba desde un principio a los trabajos de Goldschmidt *et al.* (1971) y Ward *et al.* (1973), el primer acercamiento hacia la definición de una estructura termal para el sector suroccidental del Macizo de Santander fue desarrollado por Ríos (1999), García y Ríos (1999), Ríos (2001) y Ríos *et al.* (2003), estudios en los cuales los autores presentan un mapa de la zona en donde se definen las isógradas que delimitan la zonación metamórfica con base en observaciones de campo, análisis petrográficos (minerales índice), química mineral y geotermobarometría (Figura 2). El resultado de las investigaciones mostró una disminución en el grado metamórfico hacia el suroeste, iniciando con la zona de la sillimanita en

el sector de Pescadero, seguida de las zonas de la estaurolita y el granate, y culminando con la zona de la biotita sobre la Mesa de San Pedro, siendo estos minerales esenciales típicos de la serie barroviense (metamorfismo de presiones medias y temperaturas bajas a altas); sin embargo, Ríos & García (2001) reportaron la ocurrencia y coexistencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  (sillimanita, cianita y andalucita) en una muestra de roca metapelítica del sector, además de manifestar por primera vez una paragénesis entre estaurolita y cianita, hecho que define una zona de estaurolita-cianita en lugar de una zona de la estaurolita.

Por su parte, Mantilla *et al.* (2001) describieron una franja de aproximadamente 120 metros de espesor en el límite entre la zona estaurolita-cianita y la zona del granate, la cual presentaba una gran profusión de venas hidrotermales boudinadas paralelas a la esquistosidad regional, aunadas a otros indicadores de deformación, tales como la presencia de lineaciones en sentido E-W y pliegues isoclinales, sugiriendo la presencia de una banda de cizallamiento que favoreció la circulación de fluidos, desarrollada en el Paleozoico Tardío bajo un régimen extensivo, durante la etapa retrógrada del metamorfismo y el colapso del paleo-orógeno. Asimismo, Mantilla *et al.* (2003) presentan nuevas evidencias de este evento con otros indicadores, entre ellos los procesos de disolución tectónica y deformación (estiramiento de granates y estaurolitas) de los minerales metamórficos, a partir de los cuales los autores concluyen que el colapso del paleo-orógeno se dio en dirección techo hacia el este.

Recientemente, Mantilla *et al.* (2016) propusieron la escisión de la originalmente denominada Formación Silgará (Ward *et al.*, 1973) en Esquistos del Silgará s.s. (unidad pelítica y semipelítica), Esquistos del Chicamocha (metapsamitas, metapelitas y metabasitas, posiblemente litologías calcosilicatadas) y Filitas de San Pedro (metapsamitas y metapelitas, posiblemente rocas meta-volcanoclásticas?), esto con base en diferencias litológicas entre las franjas Matanza-Cachirí

(Esquistos del Silgará s.s.) y Piedecuesta-Aratoca (Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro), además de la determinación de tres diferentes edades máximas de depositación para los protolitos de cada unidad, siendo estas del Neoproterozoico (Toniano), Cámbrico Medio-Temprano y Ordovícico Medio, respectivamente. Adicionalmente, Mantilla *et al.* (2016) concluyen que la edad del pico metamórfico para las unidades Esquistos del Silgará s.s. y Esquistos del Chicamocha corresponde con el evento Orogénico Principal Fammatiniano del Ordovícico Temprano, mientras que las Filitas de San Pedro estarían relacionadas con el evento Orogénico Menor Fammatiniano, del Silúrico.

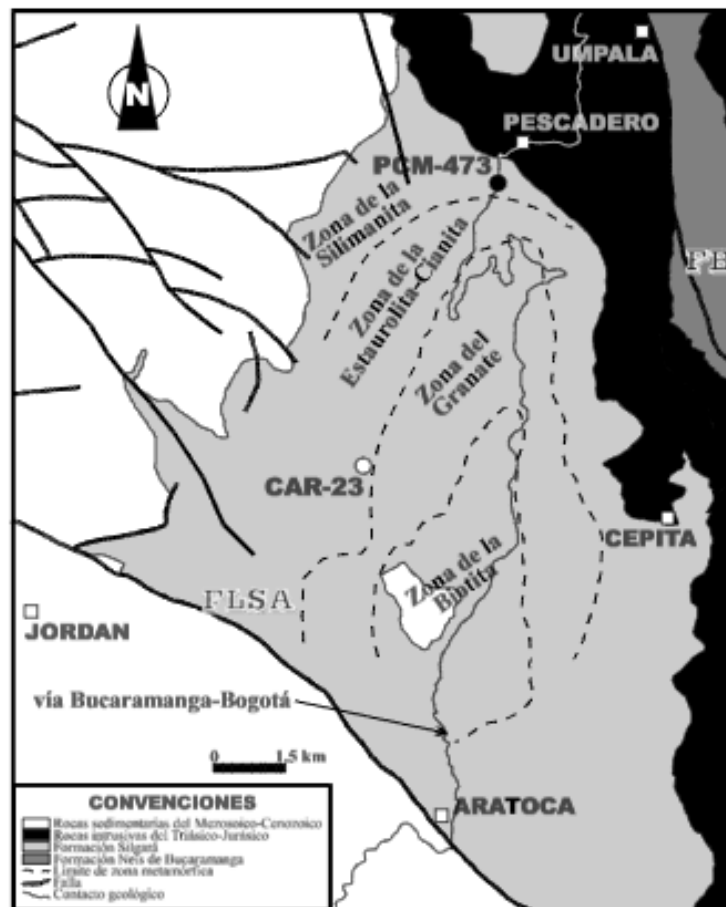
Posteriormente, la primera diferencia marcada relacionada con la estructura termal de los Esquistos del Silgará en el sector suroeste del Macizo de Santander y algunas observaciones en campo fue referida por Carvajal (2014), debido a la ocurrencia de unos esquistos de la zona del granate suprayaciendo a filitas en el sector de la Mesa de San Pedro, es decir, sobre la zona de la biotita, a raíz de lo cual el autor determinó una estructura termal invertida. Esto cobra aún mayor relevancia teniendo en cuenta que, de acuerdo con Mantilla *et al.* (2016) y Mantilla *et al.* (2016b), la secuencia de filitas y demás rocas metamórficas de bajo grado aflorantes en la Mesa de San Pedro (Filitas de San Pedro) constituyen la unidad metamórfica más joven del Macizo de Santander, y corresponden temporalmente al evento Fammatiniano Menor del Ordovícico Tardío (450 Ma), mientras que los esquistos reportados por Carvajal (2014) (Esquistos del Chicamocha) se relacionan con el evento Fammatiniano Principal del Ordovícico Temprano, sin embargo, los autores no descartan la existencia de eventos tectono-termales más recientes (de edad Paleozoico Tardío, de tipo dinamo-térmico).

En suma, la inversión termal descrita por Carvajal (2014) implica que los esquistos suprayaciendo a las filitas no solamente son más antiguos, sino que posiblemente pertenecen a un

evento tectonometamórfico distinto, (en caso de que las filitas hagan parte de las Filitas de San Pedro, datadas por Mantilla *et al.*, 2016) ubicado dentro de un nuevo marco estratigráfico propuesto por Mantilla *et al.* (2016b) para el basamento metamórfico del Macizo de Santander y, a pesar de que la estructura termal se encuentra bien definida gracias al trabajo de Ríos (1999) (y sus aportes posteriores), se requieren estudios complementarios que contribuyan a detallar la disposición de la misma.

## Figura 2

*Mapa geológico generalizado de la región suroccidental del Macizo de Santander, modificado de Ward et al. (1973).*



*Nota.* El mapa muestra la localización de la muestra con presencia de los tres polimorfos de  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, la cual se indica con un punto blanco. La muestra en la cual Ríos (1999) reporta por primera vez la ocurrencia de sillimanita fibrolítica se indica con un punto negro. FB, Falla de Bucaramanga; FLSA, Falla Los Santos – Aratoca. Adaptado de “Primera ocurrencia de los tres polimorfos de  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará región suroccidental del Macizo de Santander”, por C.A. Ríos & C.A. García, 2001, Boletín De Geología, 23(38), 51–59.

## 5 Metodología

El desarrollo de este trabajo de investigación se divide en cinco fases metodológicas interdependientes, orientadas al cumplimiento de los objetivos establecidos.

### 5.1 Pre-campo

En la fase inicial se recopiló la información preliminar necesaria para el desarrollo del trabajo de investigación presente en artículos científicos, trabajos de grado, mapas, entre otras publicaciones. Adicionalmente, se empleó la información suministrada por algunos estudiantes de Campo II de la Universidad Industrial de Santander, a partir de la cual, aunada al acompañamiento de los directores del proyecto, se fijaron las estaciones a estudiar.

### 5.2 Trabajo de campo

En esta fase se recolectaron las descripciones, observaciones y datos geológicos de los puntos de estudio. Principalmente, el trabajo de campo estuvo orientado al reconocimiento petrográfico preliminar de las litologías aflorantes a escala macroscópica, recolección de muestras, análisis geomorfológico, estructural y medición de datos de foliación.

### **5.3 Trabajo de laboratorio**

En esta etapa se realizan análisis a las muestras de roca seleccionadas, siguiendo tres subfases consecutivas, descritas a continuación. Las muestras estudiadas, su localización y análisis realizados se muestran en la Tabla 1.

#### **5.3.1 Descripción petrográfica macroscópica**

Luego del trabajo de campo se realizó una descripción petrográfica a nivel de muestra de mano, con su respectivo registro fotográfico. Debido al gran volumen de roca recolectado se seleccionaron las muestras más representativas, nombradas con el código FCB-#-X (siendo “#” el número de la estación (Figura 1), y “X” una letra del alfabeto, representando a la muestra tomada en la estación). Posteriormente, a partir de las muestras escogidas se elaboraron 11 secciones delgadas.

#### **5.3.2 Análisis petrográfico**

Los análisis petrográficos fueron llevados a cabo en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, empleando un microscopio electrónico de luz transmitida Nikon Eclipse 50i POL equipado con sistema de microfotografía; en ellos se identificaron los minerales (especialmente los minerales indicadores de metamorfismo) presentes en cada muestra con base en sus propiedades ópticas, se determinó el porcentaje de cada mineral mediante un conteo sistemático de entre 400 y 500 puntos, y se realizaron observaciones preliminares sobre las características del metamorfismo a partir de las características texturales y microestructurales evidentes en lámina delgada.

#### **5.3.3 Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)**

Como última etapa de trabajo de laboratorio se realizaron análisis cualitativos de Difracción de Rayos X (DRX) a las muestras FCB-01-A y FCB-07-A, con el fin de identificar las

fases minerales existentes y determinar con mayor exactitud la facie y zona del metamorfismo a la cual pertenecen dichas muestras. El registro de datos tuvo lugar en el Laboratorio de Rayos X del Parque Tecnológico Guatiguará, utilizando un difractómetro de polvo Bruker modelo D8 Advance con geometría DaVinci. El análisis cualitativo de las fases minerales se realizó por medio del software DIFFRAC.EVA de Bruker.

#### 5.4 Análisis de resultados

Se interpretaron y analizaron los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio. En esta fase se definieron la facie y la zona metamórfica de las muestras estudiadas.

#### 5.5 Elaboración del informe final

Toda la información obtenida a partir del desarrollo de las fases anteriores se organiza y estructura en aras de la construcción de un informe final que satisfaga los objetivos propuestos y en el cual se presenten las conclusiones alcanzadas. Del mismo modo, se representa la información por medio de mapas, figuras, tablas, gráficas y/o anexos según corresponda.

**Tabla 1**

*Ubicación y análisis llevados a cabo en las muestras estudiadas.*

Estación	Muestra	Petrografía	DRX	Coordenadas (MAGNA Colombia Bogotá)		
				Este (m)	Norte (m)	Altura (msnm)
FCB-01	FCB-01-A	X	X	1117039	1234229	1797
	FCB-01-B	X				
FCB-02	FCB-02-A	X		1121642	1235944	697
	FCB-02-B	X				
	FCB-02-C	X				
FCB-03	FCB-03-A	X		1112942	1238553	537
	FCB-03-B	X				
	FCB-03-C	X				
FCB-06	FCB-06-A	X		1115469	1240618	520
FCB-07	FCB-07-A	X	X	1115859	1240992	547
	FCB-07-B	X				

*Nota.* La ubicación de cada estación se observa en la Figura 1.

## 6 Resultados

El trabajo de campo, los análisis petrográficos (macroscópicos y microscópicos) y de laboratorio llevados a cabo sobre las muestras seleccionadas permitieron identificar con exactitud las litologías aflorantes de cada estación de trabajo sobre los sectores de Tierra Blanca, El Pomarroso y San Pedro (Figura 1).

### 6.1 Relaciones litológicas

#### 6.1.1 *Sector Tierra Blanca*

La primera estación (FCB-01) se ubica sobre el margen izquierdo de la vía principal Bucaramanga-Aratoca, en frente de un establecimiento llamado Tierra Blanca, ubicado a menos de un kilómetro del casco urbano de Aratoca. Se trata de un afloramiento de aproximadamente 10m de alto y 30m de largo, altamente meteorizado, en el cual se identifica un contacto entre filitas moscovíticas y esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita con planos de foliación 085/43 y 080/33, respectivamente. A su vez, este contacto es cortado por un cuerpo riolitoide, altamente caolinizado y sin deformación evidente. La posición estratigráfica de los esquistos enfrentados con las filitas sugiere la presencia de una falla, cuyo plano fue aprovechado posteriormente por el dique durante su emplazamiento. Posteriormente, se identifican evidencias de deformación frágil y dúctil tanto en los esquistos como en las filitas que soportan esta hipótesis, lo cual explicaría la presencia de los esquistos suprayaciendo a las filitas y la naturaleza friable de las muestras recolectadas, en contraste con las obtenidas en siguientes estaciones.

**Figura 3***Estación FCB-01*

*Nota.* Afloramiento de roca frente al parador Tierra Blanca, mostrando: A) Contacto neto entre el cuerpo de riolita y filitas moscovíticas y B) Esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita en contacto cubierto con el cuerpo de riolita.

**6.1.2 Sector El Pomarroso**

Este punto (FCB-02) se encuentra ubicado en la zona limítrofe entre las veredas de Cantabara y San Antonio, sobre el margen izquierdo de un carretable denominado informalmente como “Vía al Pomarroso”. A unos metros en dirección E-SE se observa el cauce del Río Chicamocha. Los afloramientos son de roca metamórfica fresca, de hasta 1,5 metros de alto (aproximadamente) y están muy afectados por diaclasas. Los litotipos identificados corresponden a esquistos moscovíticos con granate y esquistos biotíticos-hornbléndicos locales como un cuerpo de geometría lenticular (Figuras 4A y 4B). Ambas litologías presentan evidencias de paso de fluidos hidrotermales; en el caso de los esquistos pelíticos estos son representados por venas de  $Qtz+Pl+Bt\pm Ms\pm Opq$  dispuestas paralelamente a la foliación en mineralizaciones de hasta 5 cm de espesor, además de vetillas de  $Chl+Pl+Ep$  de menos de 1 mm que cortan transversalmente a la

foliación y a las venas principales, mientras que los esquistos máficos son cortados únicamente por vetillas de calcita. Asimismo, estas venas principales también se encuentran plegadas y fracturadas. La deformación tanto dúctil como frágil impuesta sobre las rocas aflorantes sugiere proximidad con alguna falla que favorezca la apertura y la infiltración de fluidos hidrotermales.

#### Figura 4

*Estación FCB-02*



*Nota.* A) Aspecto general de los esquistos biotíticos-hornbléndicos con lentes de calcita. B) Esquistos moscovíticos con granate cortados paralelamente por venas hidrotermales deformadas.

### 6.1.3 *Sector San Pedro*

Como parte final del trabajo de campo se realiza una transecta sobre un carreteable alterno que comunica los municipios de Jordán al SW y Aratoaca al NE, siguiendo el trazo del Río Chicamocha, con el objetivo de definir un contacto litológico entre rocas metamórficas de medio a alto grado y rocas de medio a bajo grado de metamorfismo. El recorrido inicia al sur con la estación FCB-03; en este punto se encuentra un afloramiento de roca fresca conformado por esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita de grano medio a grueso, cuyos datos de foliación varían entre 160/32 y 183/14 (Figura 5A). Estos esquistos se encuentran replegados y cortados por venas hidrotermales de cuarzo dispuestas paralelamente a la foliación, las cuales se encuentran a menudo boudinadas o con morfología sigmoidal, mostrando una cinemática de cizalla dextral (Figura 5B). Además, un segundo evento hidrotermal tiene lugar sobre las rocas, representado por venas de Brt+Cal de aproximadamente 2 cm de espesor, sin deformar, que se emplazan sobre los esquistos de forma casi perpendicular a la foliación.

Posteriormente, se observa un cambio litológico en las estaciones FCB-06 y FCB-07 (Figura 6). Los esquistos de grano grueso identificados en los puntos anteriores son reemplazados por esquistos biotíticos de grano fino con planos de foliación en dirección 177/66, microplegados y afectados por cizalla, la cual favoreció la conminución en el tamaño de los blastos y el desarrollo de estructuras causadas por metamorfismo dinámico, tales como la Fábrica C y la foliación oblicua. En este caso el contacto entre ambos litotipos no es visible a escala de afloramiento debido a tramos faltantes o cubiertos, desarrollo de abanicos aluviales con gran espesor y bloques caídos.

**Figura 5***Estación FCB-03*

*Nota.* A) Aspecto general de los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita. B) Venas de Qtz sigmoidales (sentido de cizalla dextral) y deformadas.

**Figura 6***Estación FCB-06*

*Nota. Esquistos biotíticos.*

**6.2 Análisis mineralógico-petrográfico**

Los análisis petrográficos sobre las muestras recolectadas en campo son llevados a cabo con base en las recomendaciones sobre clasificación de rocas metamórficas dadas por la Subcomisión para la Sistemática de Rocas Metamórficas de la IUGS (Schmid *et al.*, 2002). Asimismo, en la Tabla 1 y la Tabla 2 se presentan los litotipos identificados con sus principales características y composición mineralógica, respectivamente. Las abreviaturas minerales son las avaladas por la SCMR/IUGS, por Siivola & Schmid (2007).

**Tabla 2***Litotipos y sus principales características*

LITOTIPO	MUESTRA/S	ESTRUCTURA	TEXTURA
Esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita	FCB-01-A	Esquistosa, cataclástica	Lepidogranoblástica
	FCB-02-C	Esquistosa, microplegada	Lepidogranoblástica
	FCB-03-A	Esquistosa	Lepidogranoblástica
	FCB-03-B	Esquistosa	Lepidogranoblástica
	FCB-03-C	Esquistosa	Lepidogranoblástica
Filitas moscovíticas	FCB-01-B	Esquistosa	Granolepidoblástica
Esquistos moscovíticos con granate	FCB-02-A	Esquistosa, microplegada	Granolepidoblástica
Esquistos biotíticos-hornbléndicos	FCB-02-B	Esquistosa, microplegada	Porfidoblástica en matriz granolepidoblástica
Esquistos biotíticos	FCB-06-A	Esquistosa, microplegada	Porfidoblástica en matriz granolepidoblástica
	FCB-07-A	Esquistosa, milonítica	Porfidoblástica en matriz granolepidoblástica
	FCB-07-B	Esquistosa, milonítica	Porfidoblástica en matriz granolepidoblástica

**Tabla 3***Composición mineralógica de las muestras analizadas*

MUESTRA/S	COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%)																								
	Relicticos					Metamórficos								Secundarios											
	Qtz0	Ap	Rt	Zr	Mop	Qtz1	Grt	Bt1	Bt2	Chl	Ms1	Pl1	Ep1	Hbl	Act	Mop	Qtz2	Ms2	Bt2 (vena)	Chl	Pl2	Ep2	Cal	Kh	Brt
FCB-01-A	-	-	-	-	-	46	-	<1	-	24	6	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-
FCB-02-C	-	<1	<1	<1	-	24	-	4	-	8	3	-	-	-	3	35	4	8	-	-	10	-	-	-	-
FCB-03-A	-	-	-	-	2	57	-	3	-	15	13	-	-	-	-	-	<1	-	-	-	-	1	-	10	-
FCB-03-B	-	-	-	<1	-	37	-	1	-	10	13	-	-	-	9	3	<1	-	-	-	-	17	-	8	-
FCB-03-C	-	<1	-	<1	1	47	-	3	-	21	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	-	-	-
FCB-01-B	1	-	-	-	-	3	-	-	-	65	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FCB-02-A	-	<1	<1	2	1	<1	2	-	-	24	10	-	-	-	-	39	<1	4	7	6	3	-	-	-	-
FCB-02-B	-	<1	-	<1	13	-	40	<1	-	-	3	5	22	12	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-
FCB-06-A	-	-	-	<1	8	41	-	29	-	19	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-
FCB-07-A	-	-	-	-	5	38	-	23	-	30	-	-	-	-	-	<1	-	-	-	3	-	-	-	-	-
FCB-07-B	-	-	<1	-	9	14	-	25	-	38	-	-	-	-	-	9	-	-	-	4	-	-	-	-	-

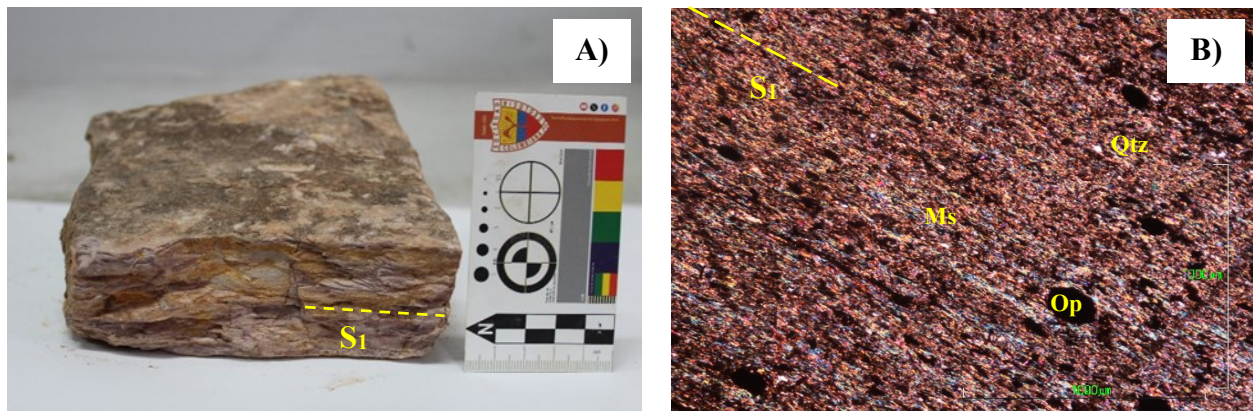
### 6.2.1 *Filitas moscovíticas*

Exhiben colores pastel, variando entre tonos rojizos, crema y anaranjado debidos a la oxidación causada por el intemperismo que afectó al afloramiento. Planos de clivaje bien definidos y subparalelos entre sí. Difícilmente se pueden distinguir sus granos empleando lupa de mano.

A nivel microscópico (sección FCB-01-B) se determina una estructura de clivaje continuo, definida por la orientación de blastos de grano muy fino de moscovita y cuarzo (Figura 7B). Hay presencia de muy pocos granos de cuarzo relíctico (1% de la muestra) en un microlitón, generando un ligero espaciamiento de la foliación en un sector de la muestra. La textura de la roca es granolepidoblástica, y la distribución de los blastos es homeoblástica. Por último, se identifica un considerable contenido de minerales opacos, los cuales se asumen como minerales secundarios, producto de la oxidación en la muestra.

#### Figura 7

##### *Características petrográficas de las filitas*



*Nota.* A) Aspecto general de las filitas en muestra de mano. B) Mineralogía y clivaje continuo (muestra FCB-01-B).

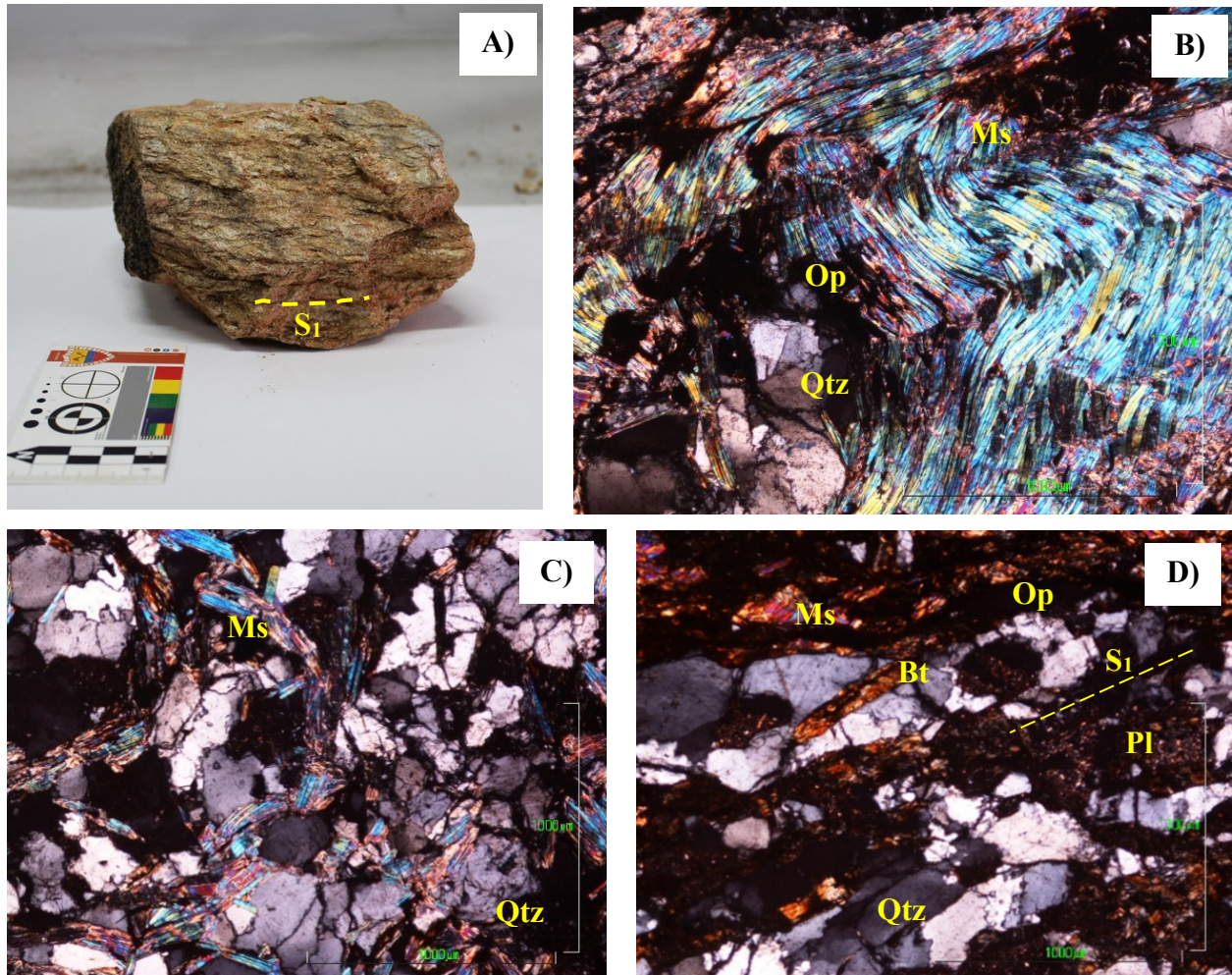
### **6.2.2 *Esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita***

Constituyen el litotipo más identificado durante el trabajo de campo, ya que se encuentran en los tres sectores de trabajo. Sin embargo, existen variaciones importantes en las características petrográficas observadas en cada uno de dichos puntos, las cuales son descritas a continuación.

**6.2.1.1 Sector Tierra Blanca.** Los esquistos en este punto son de color crema, con tonos marrones y rojizos debidos a la meteorización de sus minerales constituyentes. A nivel de muestra de mano su estructura esquistosa es evidente, definida por planos de foliación subparalelos conformados por dominios de moscovita, intercalándose con blastos de cuarzo y plagioclasa (Figura 8A). Las rocas de este afloramiento son friables y pueden disgregarse al tacto fácilmente.

Aunque existe una esquistosidad principal S1 definida, la foliación de la muestra FCB-01-A ha sido afectada procesos de deformación observados al microscopio que tuvieron lugar sobre la roca luego del metamorfismo. En primer lugar, ocurre un microplegamiento que afecta principalmente a la moscovita, generando reorientación y kinking en sus blastos (Figura 8B). Luego se sobrepone un evento de deformación frágil ocasionando un microfracturamiento intra, inter y transgranular en los blastos de cuarzo (Figura 8C). La presencia de fracturas en individuos de moscovita microplegada permiten concluir que la formación de la estructura cataclástica fue el último evento registrado en la roca.

Composicionalmente, se identifican blastos finos de biotita como mineral esencial, en asociación con plagioclasa, cuarzo y moscovita, mientras que, como minerales secundarios se encuentran la caolinita (reemplazando a la plagioclasa) y los minerales opacos, que se encuentran rellenando fracturas (Figura 8D). Al predominar el contenido de minerales granulares se determina una textura lepidogranoblástica. Debido al intemperismo sufrido por esta muestra, sus fases minerales fueron precisadas mediante análisis de Difracción de Rayos X (Ver el apartado 6.2.6).

**Figura 8***Características petrográficas de los esquistos (FCB-01-A)*

*Nota.* A) Aspecto general en muestra de mano de los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita en el sector de Tierra Blanca. B) Microplegamiento y kinking en moscovita, posteriormente fracturada (FCB-01-A). C) Microfracturamiento en individuos de cuarzo (FCB-01-A). D) Mineralogía y foliación metamórfica de la muestra FCB-01-A.

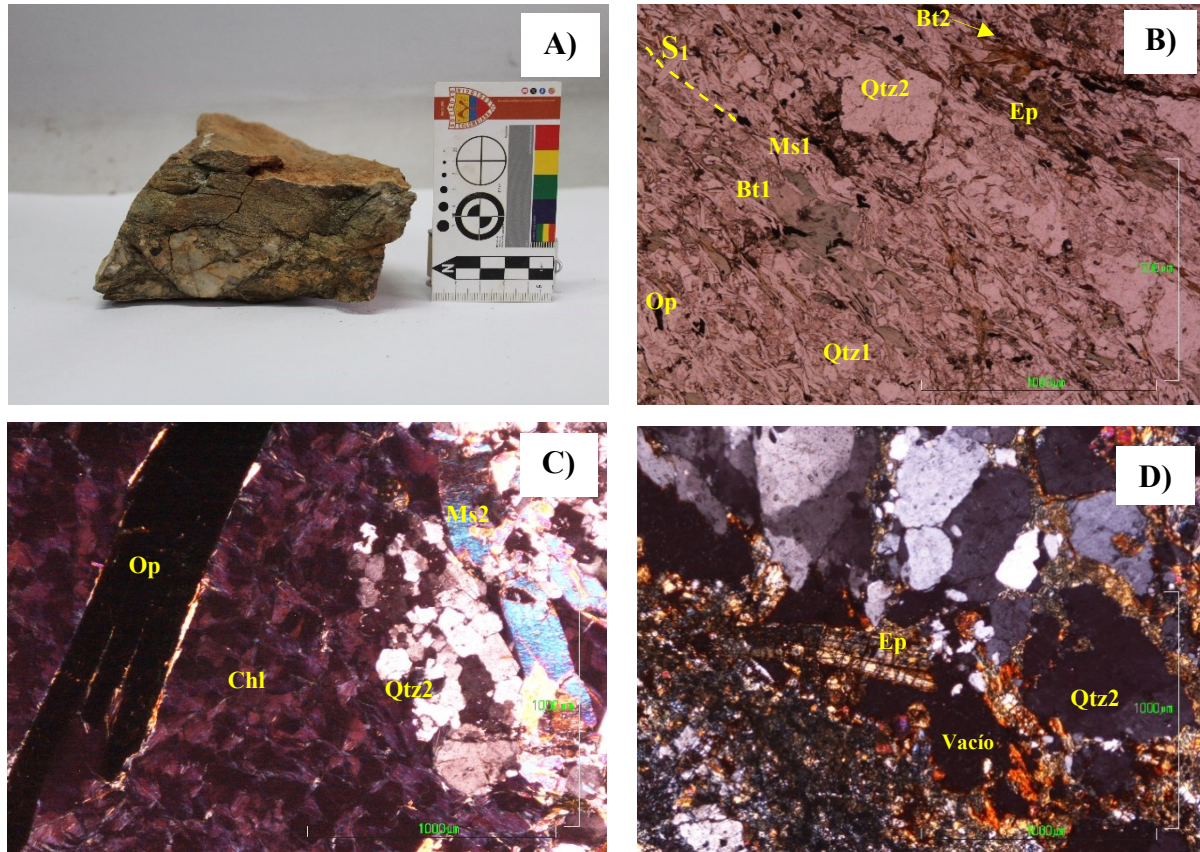
**6.2.1.2 Sector El Pomarroso.** Son de color gris verdoso, con una estructura esquistosa bien definida por planos de foliación subparalelos entre sí. Son cortados por venas hidrotermales

paralelas a la foliación, cuyo espesor varía entre unos milímetros hasta los 6 centímetros. Además, se encuentran muy afectados por fracturas no concordantes con la foliación principal.

Microscópicamente, se determina una estructura de micropliegue, marcada por las direcciones de alargamiento de los individuos de biotita y moscovita. Al mismo tiempo, se establece la asociación paragenética conformada por biotita<sub>1</sub>+cuarzo<sub>1</sub>+plagioclasa+moscovita<sub>1</sub> (Figura 9B).

Por otro lado, se reconoce la mineralogía de las venas hidrotermales. Las venas principales (y de mayor espesor), concordantes con la foliación de los esquistos contienen cristales de cuarzo<sub>2</sub> de grano medio a grueso, sin embargo, también hay presencia de venas con presencia de minerales opacos, biotita, moscovita<sub>2</sub> y clorita. Esta última incluso pueden encontrarse en un cuerpo de morfología lenticular de 2 milímetros de espesor (Figura 9C), con individuos de hábito radial. Del mismo modo, gracias al patrón de fracturamiento de la roca también se observan vetillas de unas pocas micras de espesor discordantes con respecto a la foliación, las cuales contienen individuos de epidota y de biotita<sub>2</sub> (Figuras 9B y 9D).

Finalmente, a partir del conteo de puntos se define una textura principal lepidogranoblástica. No obstante, la textura de retrogresión se reconoce en los blastos de biotita alterándose a clorita, al observar un pleocroísmo entre tonos verdes y crema. De hecho, esto constituye una de las principales diferencias con respecto a la biotita de origen hidrotermal, teniendo en cuenta que esta exhibe un pleocroísmo en tonos marrones rojizos, y presenta extinción en ojo de perdiz.

**Figura 9***Características petrográficas de los esquistos (FCB-02-C)*

*Nota.* A) Aspecto general de los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita en el sector El Pomarroso. B) Porción metamórfica de la roca. C) Lente hidrotermal con clorita, minerales opacos y moscovita hidrotermal. D) Vena de cuarzo fracturada y rellena con epidota.

**6.2.1.3 Sector San Pedro.** Estos esquistos son de color gris a gris verdoso. A nivel macroscópico se observan planos de foliación subparalelos, únicamente cortados por algunas venas hidrotermales de barita de alrededor de 2 centímetros de espesor (Figura 10A).

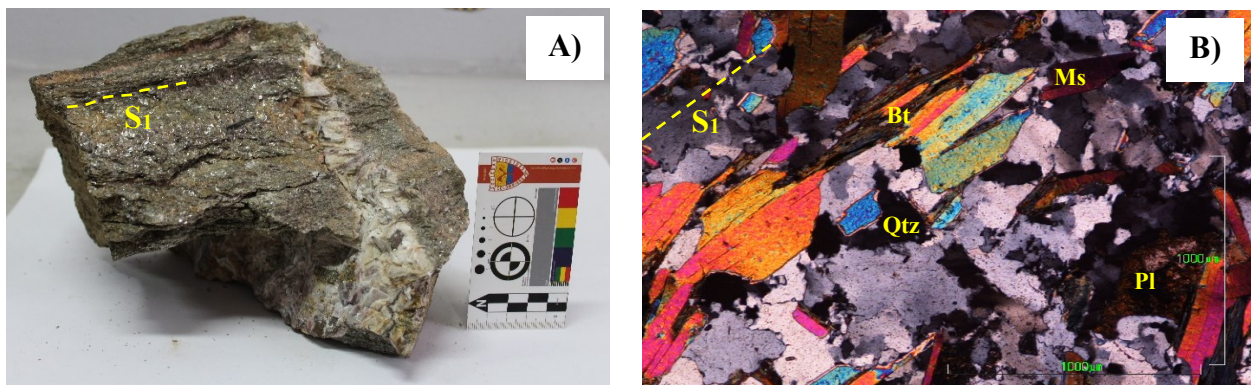
En sección delgada son homeoblásticos, con esquistosidad continua, determinada por abundantes blastos de grano medio de cuarzo, en asociación paragenética con individuos de

moscovita, biotita y plagioclasa (Figura 10B). Por su parte, como minerales secundarios asociados a la actividad hidrotermal, se identifican cristales euhedrales de cuarzo secundario (solo en la muestra FCB-03-B), y agregados de grano muy fino de calcita y opacos (muestras FCB-03-A y FCB-03-C), además de la ya mencionada barita (Figura 11). Ésta es incolora, exhibe colores de interferencia grises de primer orden y se distingue por su exfoliación en dos direcciones. Finalmente, se identifican individuos de grano muy fino de zircón como mineral relíctico.

La textura de estas rocas es lepidogranoblástica, ya que predominan el cuarzo y la plagioclasa. Sobre los individuos de cuarzo se observan procesos de recristalización dinámica, principalmente de tipo bulging, con desarrollo de subjuntas; sin embargo, también hay desarrollo de subgranos y de nuevos granos (recristalización por rotación de subgranos), lo cual indica una temperatura de deformación superior a 400°C, considerando que, según Passchier & Trouw (2005) el bulging es el mecanismo de recristalización dinámica dominante en cuarzo para temperaturas de entre 300°C y 400°C, mientras que la rotación de subgranos se desarrolla entre 400°C y 500°C.

### Figura 10

*Características petrográficas de los esquistos (FCB-03)*

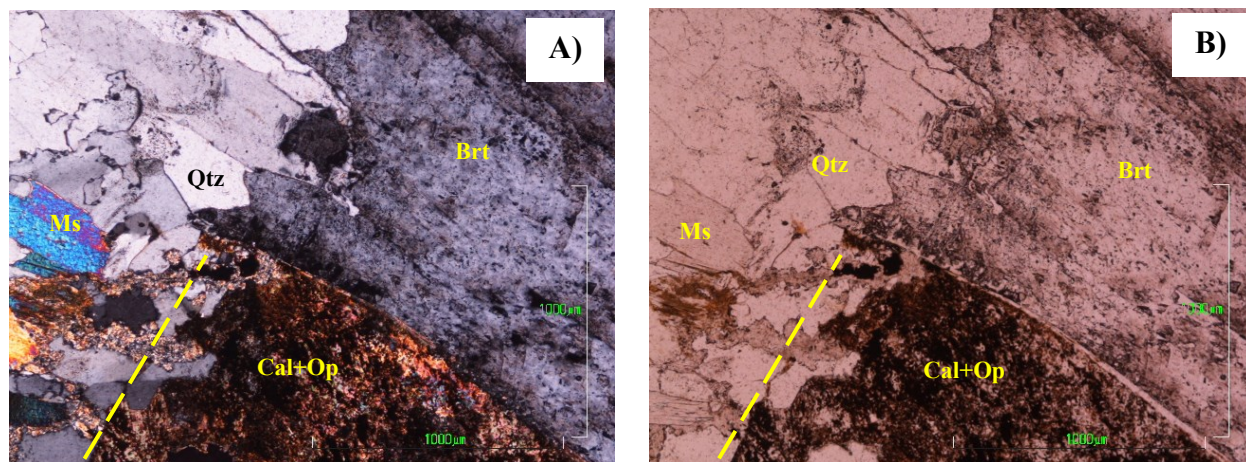


*Nota.* A) Aspecto general en muestra de mano de los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita en

el sector San Pedro B) Esquistosidad continua, mineralogía y recrystalización dinámica de tipo bulging y rotación de subgranos en blastos de cuarzo (muestra FCB-03-B).

### Figura 11

*Vena hidrotermal de barita*



*Nota.* Contacto (línea punteada) entre venas hidrotermales de Brt+Cal+Mop y roca caja (esquisto) en sección delgada FCB-03-A. A) Polarizadores cruzados (XPL). B) Luz polarizada plana (PPL).

#### 6.2.3 *Esquistos moscovíticos con granate*

A escala de afloramiento y de muestra de mano son idénticos (en términos de estructura, color y tamaño de grano) a los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita de la estación FCB-02. No obstante, la diferencia radica en su mineralogía y el contenido porcentual de los minerales.

Durante el análisis petrográfico de la sección delgada FCB-02-A se reconoce granate tipo almandino como mineral índice, visible como porfidoblastos incoloros e isótropos de grano medio, sintectónicos con respecto a la estructura principal esquistosa, posteriormente microplegada (Figura 12A). Estos porfidoblastos también contienen microfracturas rellenas de clorita y epidota.

De esa forma, la asociación paragenética está constituida por biotita<sub>1</sub>+moscovita<sub>1</sub>+granate+cuarzo<sub>1</sub>+plagioclasa<sub>1</sub>. Por otro lado, hay presencia de minerales

secundarios de origen hidrotermal. En primer lugar, se observan venas hidrotermales concordantes con la foliación principal, conformadas por individuos de cuarzo<sup>2</sup>, biotita<sup>2</sup>, plagioclasa<sup>2</sup>, minerales opacos y moscovita<sup>2</sup>; estas venas principales se encuentran a su vez cortadas por vetillas de plagioclasa+clorita+epidota+calcita (Figuras 12C y 12D).

Finalmente, gracias al predominio de moscovita metamórfica con respecto a los minerales granulares, se define una textura porfidoblástica con matriz granolepidoblástica. Además, se identifica una textura de retrogresión, con individuos de clorita secundaria completamente formados a partir de la alteración de la biotita<sup>1</sup>.

#### **6.2.4 *Esquistos biotíticos-hornbléndicos***

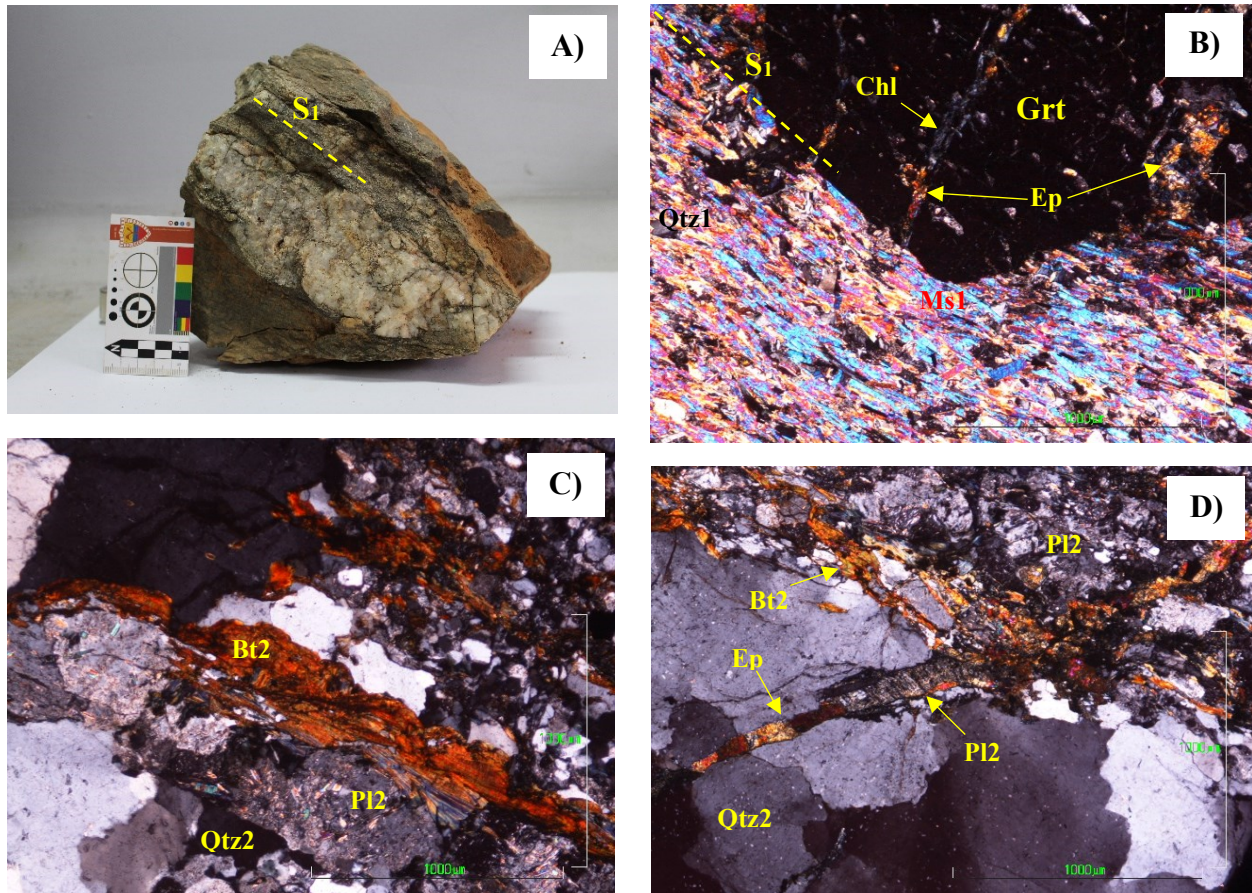
Roca de color verde oscuro, con planos de foliación marcados y paralelos. A primera vista se observan individuos de hábito acicular tanto de actinolita como de hornblenda, cuya dirección de alargamiento no es concordante con la esquistosidad (Figura 13A).

A escala de microscopio se distingue una estructura de micropliegue, afectando a la estructura principal (foliación continua). Respecto de su composición mineralógica, predomina la biotita<sup>1</sup>, seguida de cuarzo, epidota<sup>1</sup> y plagioclasa; estos individuos de grano fino conforman la matriz dentro de cual se encuentran porfidoblastos de grano medio de actinolita y hornblenda, sintectónicos con respecto a la foliación principal S<sub>1</sub> (Figura 13B y 13C).

Adicionalmente, se identifica una segunda generación de biotita postectónica, con un tamaño de grano considerablemente mayor al de la matriz. Esta biotita no se encuentra orientada en dirección de las trazas axiales de los micropliegues, por lo tanto, no corresponde un clivaje de crenulación. Además, hay presencia de microfracturas rellenas de calcita discordantes con la foliación (Figura 13D).

**Figura 12**

*Características petrográficas de los esquistos moscovíticos con granate.*



*Nota.* A) Aspecto general en muestra de mano de los esquistos moscovíticos con granate. B) Estructura principal y mineralogía de la roca. C) Venas hidrotermales principales D) Vetillas secundarias.

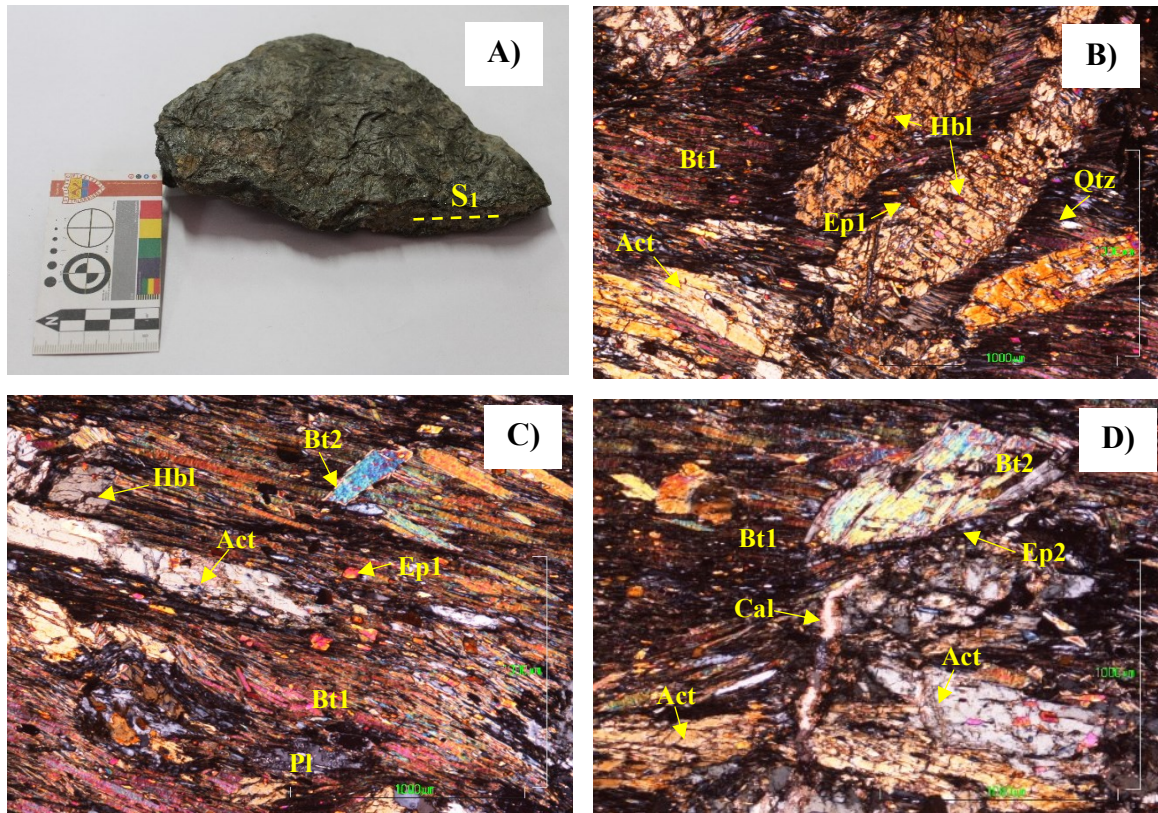
Como procesos asociados al metamorfismo retrógrado se identifican la alteración de actinolita a epidota (epidota2) y la alteración de hornblenda a actinolita. La textura principal de la roca es porfidoblástica con una matriz granolepidoblástica.

Por último, es importante resaltar que la sección delgada FCB-02-B, correspondiente a este litotipo, es la única roca metamórfica estudiada cuyo protolito es máfico. Este hecho, sumado a la

paragénesis mineral de la muestra, tiene implicaciones petrológicas importantes, las cuales son desarrolladas con mayor profundidad en la Discusión.

### Figura 13

*Características petrográficas de los esquistos biotíticos-hornbléndicos*



*Nota.* A) Aspecto general en muestra de mano de los esquistos biotíticos-hornbléndicos. B) Porfidoblastos de hornblenda en matriz granolepidoblástica. C) Porfidoblasto de actinolita y hornblenda alterándose a actinolita. D) Segunda generación de biotita, microfractura rellena de calcita y epidota secundaria producto de la alteración de la actinolita.

#### 6.2.5 Esquistos biotíticos

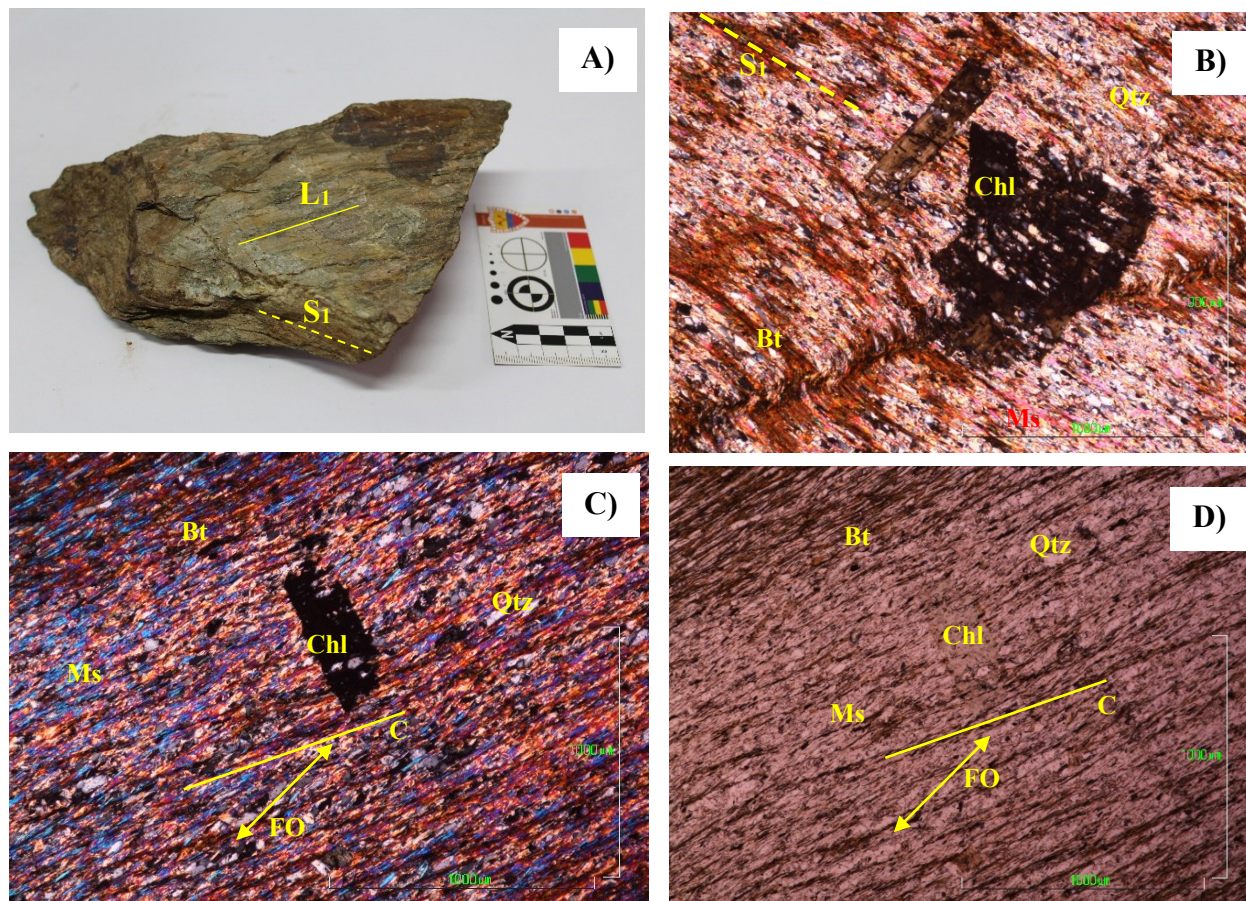
Rocas de color gris verdoso. A nivel macroscópico se reconocen planos de foliación ( $S_1$ ) paralelos entre sí con una lineación de estiramiento ( $L_1$ ) y una estructura moteada, definida por

porfidoblastos no identificados en muestra de mano (Figura 14A). El tamaño de grano de sus minerales constituyentes es muy fino, por esa razón inicialmente se clasificaron como filitas.

A pesar de su granulometría, en sección delgada se confirman como esquistos debido a su considerable contenido de biotita como mineral esencial (23%-29%), en asociación paragenética con moscovita y cuarzo. La estructura primaria de estas rocas corresponde a un clivaje continuo, con porfidoblastos posttectónicos de clorita de relieve muy bajo, incoloros, con un pleocroísmo muy débil y muy baja birrefringencia, presentando colores de interferencia marrones oscuros anómalos, flotando en una matriz granolepidoblástica y homeoblástica (Figura 14B, 14C y 14D). Cabe destacar que, debido a sus propiedades anómalas, este mineral tuvo que ser confirmado mediante análisis de Difracción de Rayos X (Ver capítulo 6.2.6).

Con respecto a la clorita y a sus propiedades, Saggerson & Turner (1982) afirman que las cloritas incoloras y de relieve muy bajo corresponden a variedades ricas en Mg y que las cloritas de color verde y colores de interferencia marrones anómalos probablemente sean picnoclorita (en rocas básicas) o proclorita (en rocas pelíticas). Con base en esto, es posible afirmar que la clorita de estos esquistos es rica en Mg y pobre en Al, y su composición química se encuentra entre clinocloro y proclorita.

Posterior al evento que dio lugar a la estructura de la roca, la sección FCB-06-A presenta una estructura de micropliegue. Por su parte, las láminas FCB-07-A y FCB-07-B contienen evidencias de cizalla, representadas por bandas tipo C y desarrollo de foliación oblicua, con individuos elongados de cuarzo y moscovita orientados formando un ángulo de 45° con la foliación milonítica, marcada por la biotita (Figuras 14C y 14D). Según Passchier & Trouw (2005), la foliación oblicua en cuarzo probablemente se desarrolla entre 400°C y 500° C en el régimen combinado entre la SGR (Rotación de Sub-granos) y la GBM (Migración de Borde de Grano).

**Figura 14***Características petrográficas de los esquistos biotíticos.*

*Nota.* A) Muestra de mano FCB-07-A. B) Esquisto biotítico con estructura de micropliegue (FCB-06-A) C) Fábrica C y foliación oblicua (FO) en la sección FCB-07-A (Nicoles cruzados). D) Sección FCB-07-A (Nicoles paralelos).

**6.2.6 Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)**

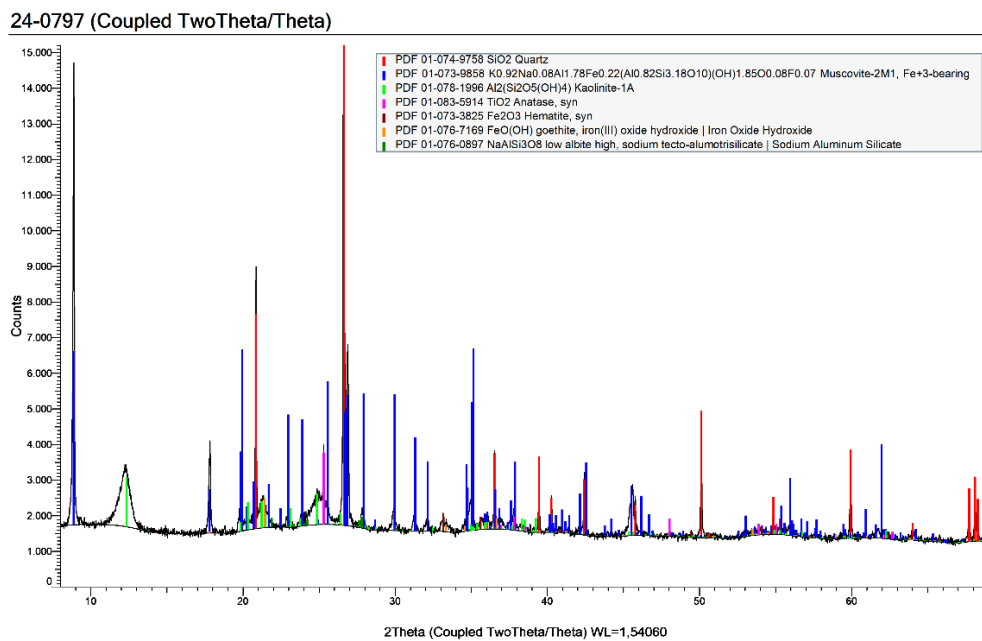
En este apartado se presentan los análisis cualitativos realizados sobre las muestras correspondientes a esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita (muestra FCB-01-A) y esquistos biotíticos (FCB-07-A), con el fin de corroborar las fases minerales que no fueron del todo identificadas mediante microscopía óptica debido a la meteorización de la muestra o a sus propiedades anómalas (el caso de la clorita postectónica), respectivamente.

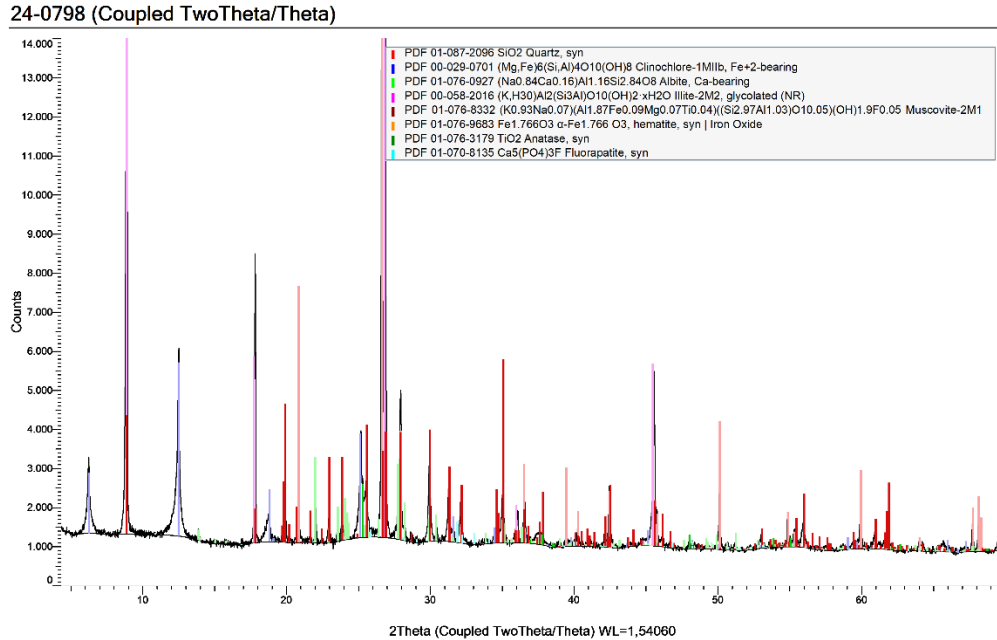
Los difractogramas indican presencia de goethita, hematita, caolinita y anatasa como minerales accesorios en los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita. Moscovita, cuarzo y albita se mantienen como minerales metamórficos (Figura 15).

Del mismo modo, la muestra de esquisto biotítico contiene fluorapatito, anatasa, hematita e illita como minerales accesorios. La clorita identificada en sección delgada corresponde con la variedad clinocloro, rica en Mg. Finalmente, los análisis indican presencia de albita, no identificada durante los análisis petrográficos (Figura 16).

### Figura 15

*Difractograma (Muestra FCB-01-A)*



**Figura 16***Difractograma (Muestra FCB-07-A)*

## 7 Discusión

### 7.1 Condiciones de metamorfismo

En términos generales, todas las muestras analizadas contienen biotita y/o granate como minerales índices que indican un evento de metamorfismo M<sub>1</sub> barroviense, característico en metapelitas de presiones medias (Bucher & Frey, 1994). A continuación, se detallan las características del metamorfismo inferidas a partir de los análisis petrográficos en las tres subzonas trabajadas en campo (Figura 1).

#### 7.1.1 Sector Tierra Blanca

En este sector al sur de la Mesa de San Pedro se encuentran los esquistos cuarzo-moscovíticos con biota (muestra FCB-01-A) en contacto con las filitas moscovíticas (FCB-01-B). En cuanto a los esquistos, estos contienen registro de tres eventos tectono-metamórficos.

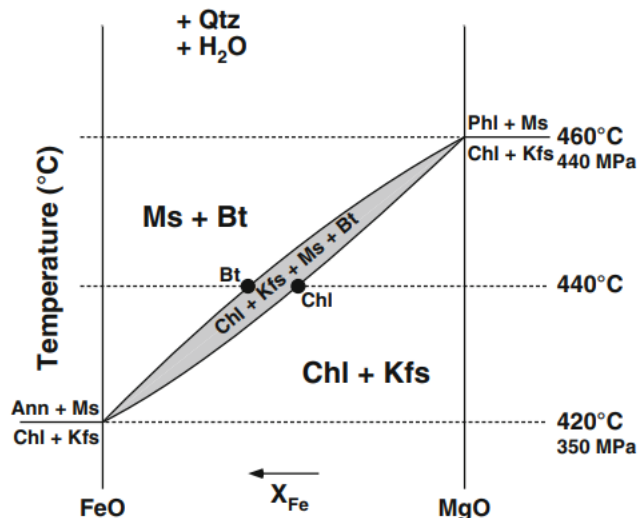
Inicialmente, la Unidad Esquistos del Silgará fue afectada por un metamorfismo de tipo Barroviense, cuyo grado metamórfico disminuye desde el sector de Pescadero hacia el área de la Mesa de San Pedro (Ríos, 2001). Este evento ( $M_1$ ) de metamorfismo regional alcanzó un grado medio sobre un protolito pelítico en el sector, con la paragénesis  $Bt+Ms+Qtz+Ab$ . De acuerdo con Williams *et al.* (1980), esta asociación mineral pertenece a la facie Esquistos Verdes, en la cual el granate aparece como mineral accesorio hasta la facie Epidota-Anfibolita. Según esto, es posible que estos esquistos pertenezcan a la zona del granate, a pesar de no contar con este mineral. Adicionalmente, de acuerdo con Ríos (2001), la paragénesis mineral más abundante en la zona del granate es  $Bt+Ms+Qtz+Ab\pm Chl\pm Grt$ . Posteriormente, tuvo lugar un evento de deformación dúctil ( $D_1$ ), responsable del microplegamiento y *kinking* sobre los blastos de moscovita (Figura 8B). Por último, ocurrió segundo un evento de metamorfismo de dislocación ( $M_2$ ), representado por cataclasis (Figura 8C).

De acuerdo con Bucher & Frey (1994), cerca de los 400°C aparece la primera biotita en metapelitas pobres en Al a expensas de Chl y Kfs; esta reacción encuentra el equilibrio a 420°C y 3.5 kbar en el sistema KFASH y a 460°C y 4.4 kbar en el sistema KMASH (Figura 17). De ese modo, Bt, Ms, Chl y Kfs coexisten sin problema en condiciones intermedias. En vista de la ausencia de Chl y Kfs en los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita, se concluye que estos alcanzaron condiciones iguales o superiores a los 440°C y 3.9 kbar.

Por su parte, las filitas únicamente tienen registro del evento  $M_1$ , y su asociación paragenética está conformada por  $Ms+Qtz$ , también asociada a la facie Esquistos Verdes. Teniendo en cuenta que esta facie cubre un rango de temperatura de entre 300°C y 500°C (Bucher & Frey, 1994) y que no hay presencia de Bt o Cld, se presume que estas filitas alcanzaron condiciones inferiores a 400°C, correspondientes con la zona de la clorita (facies Esquistos Verdes).

**Figura 17**

Diagrama  $P$ - $T$ - $X_{Fe}$  representando la asociación  $Kfs$ - $Ms$ - $Bt$ - $Chl$



*Nota.* Adaptado de Petrogenesis of Metamorphic Rocks (p.268), por K. Bucher & R. Grapes, 2011, Berlin: Springer-Verlag.

### 7.1.2 Sector El Pomarroso

Este sector comprende los afloramientos de esquistos moscovíticos con granate (FCB-02-A) en contacto con esquistos biotíticos-hornbléndicos en la estación FCB-02 (FCB-02B). La paragénesis de estos últimos está definida por  $Hbl + Act + Ep + Pl + Qtz + Bt$ , correspondiente con un evento de metamorfismo regional  $M_1$ . De acuerdo con Bucher & Grapes (2011), entre  $450^{\circ}C$  y  $550^{\circ}C$  (400-500 MPa) las rocas metabásicas en la facies Esquistos Verdes experimentan dos cambios mineralógicos fundamentales: el reemplazo de albita por oligoclasa y la sustitución de actinolita por hornblenda rica en Al y Na; estos cambios marcan una transición entre las facies Esquistos Verdes y Anfibolita. Considerando su asociación mineral diagnóstica, es posible afirmar que los esquistos biotíticos-hornbléndicos pertenecen a esta transición.

Por otro lado, las rocas metapelíticas aflorantes en este punto contienen granate accesorio como mineral índice. La asociación paragenética en los esquistos moscovíticos con granate está determinada por  $\text{Grt}+\text{Ms}+\text{Bt}+\text{Pl}+\text{Qtz}$ . Dado que el primer granate en metapelitas aparece cerca de los  $450^{\circ}\text{C}$  (Bucher & Grapes, 2011), se infiere que los esquistos superaron esta temperatura en su pico metamórfico. Teniendo en cuenta que se encuentran asociados a los esquistos biotíticos-hornbléndicos, ambas litologías pudieron haber superado los  $500^{\circ}\text{C}$  y haber alcanzado presiones de 4-5 kbar, consistentes con los datos de  $495^{\circ}\text{C}$ - $518^{\circ}\text{C}$  y 4.5 kbar-5.5 kbar obtenidos por Ríos *et al.* (2003) para la zona del granate, con asociaciones minerales de transición entre las facies Esquistos-Verdes y Anfibolita.

### 7.1.3 Sector San Pedro

Este sector abarca desde el punto FCB-03 hasta el punto FCB-07. Al SW, las rocas metamórficas aflorantes durante el trayecto corresponden a esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita (FCB-03-A, FCB-03-B y FCB-03-C). Similar a los esquistos observados en el sector de Tierra Blanca, estos también exhiben la asociación mineral  $\text{Bt}+\text{Ms}+\text{Ab}+\text{Qtz}$ , producto de un evento de metamorfismo  $M_1$  que alcanzó la zona del granate en la facies Esquistos Verdes. Se distinguen por un mayor tamaño de grano (grano medio a grueso), sumado a que presentan procesos de recristalización dinámica que alcanzaron la rotación de subgranos que, de acuerdo con Passchier & Trouw (2005), es el mecanismo de recristalización dominante en cuarzo en temperaturas medias ( $400^{\circ}\text{C}$ - $500^{\circ}\text{C}$ ).

Además de los procesos de recristalización, el tamaño de grano podría ser indicador de que estos esquistos alcanzaron mayores condiciones de temperatura y presión que los estudiados en el sector de Tierra Blanca, incluso cerca de los  $500^{\circ}\text{C}$ . La ausencia de granate en las muestras de ambos sectores podría obedecer a la composición química total del protolito. De acuerdo con Spear

(1995), en rocas con alto contenido de MnO+CaO, el granate puede aparecer a temperaturas menores a 450°C, mientras que en rocas con bajo contenido en MnO+CaO el granate podría no aparecer hasta arriba de los 500°C.

A partir del punto FCB-06 afloran esquistos biotíticos de menor grado de metamorfismo. El evento  $M_1$  se encuentra representado por la asociación mineral Bt+Ms+Qtz (+Chl?), alcanzando la zona de la biotita en la facies Esquistos Verdes (>420°C y 3.5 kbar). En la estación FCB-06 hay evidencias de un evento de deformación dúctil  $D_1$  (microplegamiento).

Adicionalmente, las rocas pertenecientes al punto FCB-07 contienen registro de un evento de metamorfismo dinámico  $M_2$ . Este se encuentra determinado por el desarrollo de fábrica C y foliación oblicua polimineral en las muestras FCB-07-A y FCB-07-B, la cual es poco común y ocurre principalmente en milonitas de medio-alto grado (Hanmer & Passchier, 1991). En granos de cuarzo, Passchier & Trouw (2005) afirman que la foliación oblicua ocurre entre los regímenes de rotación de subgranos y migración de borde de grano de alta temperatura, es decir, que durante el desarrollo de la fábrica se superaron los 500°C.

Particularmente, los porfidoblastos posttectónicos de clorita encierran incógnitas con respecto a su génesis. Aunque parecen de origen metamórfico, no queda completamente claro si corresponden al evento de metamorfismo regional  $M_1$  o si se formaron como respuesta a un metamorfismo local  $M_3$  debido a la acción de fluidos hidrotermales en el sector.

#### **7.1.4 *Eventos tectónicos post-metamorfismo***

Las rocas metamórficas aflorantes entre las veredas de San Pedro y Cantabara contienen registro de eventos tectono-metamórficos posteriores al evento Fammatiniano de metamorfismo regional barroviense  $M_1$ . Evidencias en las relaciones litológicas observadas en campo, análisis

petrográficos y fotointerpretación sugieren que la zonación metamórfica concéntrica propuesta inicialmente por Ríos (1999) para los Esquistos del Silgará fue modificada a lo largo de la evolución geológica del flanco SW del Macizo de Santander.

A partir del estudio de las rocas metamórficas que Carvajal (2014) describe por primera vez como una estructura termal invertida en el sector de la Mesa de San Pedro se reconoce una falla inversa denominada en este trabajo como Falla Tierra Blanca, que pone en contacto esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita (zona del granate) suprayaciendo a filitas moscovíticas (zona de la clorita). Además de este criterio estratigráfico, se identificaron dos eventos de deformación posterior en los esquistos: un evento  $D_1$ , dúctil, caracterizado por microplegamiento y *kinking* en blastos de moscovita, seguido por un evento  $M_2$  de metamorfismo dinámico que causó microfracturamiento a nivel intragranular y transgranular en individuos de moscovita y cuarzo (cataclasis). Considerando que la deformación dúctil ocurre a mayor temperatura y presión litostática que la deformación frágil (Passchier & Trouw, 2005), los eventos identificados en los esquistos podrían apoyar la hipótesis de un transporte tectónico hacia la superficie.

Por otra parte, un dique de riolita de  $195 \pm 3.5 / -2.6$  Ma (Carvajal, 2014) se emplazó justo en el contacto fallado entre las litologías metamórficas y, aunque se encuentra muy alterado, no presenta evidencias de deformación. Esto indica que la Falla Tierra Blanca es más antigua que el dique, o al menos que el emplazamiento de este último en el Triásico-Jurásico es tardicinemático con respecto a la fase deformativa de la falla.

Al especular sobre su génesis y cinemática, es posible que la falla Tierra Blanca haya estado asociada a la paleo-falla de Bucaramanga, cuya actividad provocó un desplazamiento dextral durante un evento de rifting en el Mesozoico Temprano (Kammer & Sánchez, 2006). Debido al ángulo de su trazo (aproximadamente  $75^\circ$ ) con respecto al de la Falla de Bucaramanga,

probablemente se trate de una falla inversa fosilizada, oblicua, con un componente de desplazamiento en rumbo sinistral que actuó en su momento como un antiriedel (R') de esta estructura regional, invirtiendo la estructura termal al sur de la Mesa de San Pedro. No obstante, hacen falta muchos más datos y observaciones para corroborar o desmentir esta hipótesis.

Del mismo modo, las rocas metamórficas estudiadas en el carretable conocido como "Vía al Pomarroso" (estación FCB-02) y en el sector San Pedro (estaciones FCB-03-FCB-07) contienen evidencias de deformación posterior al metamorfismo. En el punto FCB-02, los esquistos moscovíticos con granate y los esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita aflorantes presentan una alta densidad de fracturas rellenas por fluidos hidrotermales, lo que sugiere un importante control estructural. Dichas venas hidrotermales se organizan de la siguiente forma: venas hidrotermales principales de  $Qtz \pm Pl \pm Ms \pm Bt \pm Mop$  de 2 a 5 cm de espesor, paralelas a la foliación de los esquistos, cortadas por vetillas con asociaciones minerales de  $Chl + Pl + Ep + Cal$ , típicas de una alteración propilítica (Figuras 9 y 12). Esto indica que existieron al menos dos pulsos hidrotermales, siendo el más reciente de menor temperatura que el primero. También hay evidencias de más de un evento de deformación frágil, con venas de cuarzo principales afectadas por cataclasis y rellenas por epidota (Figura 9D).

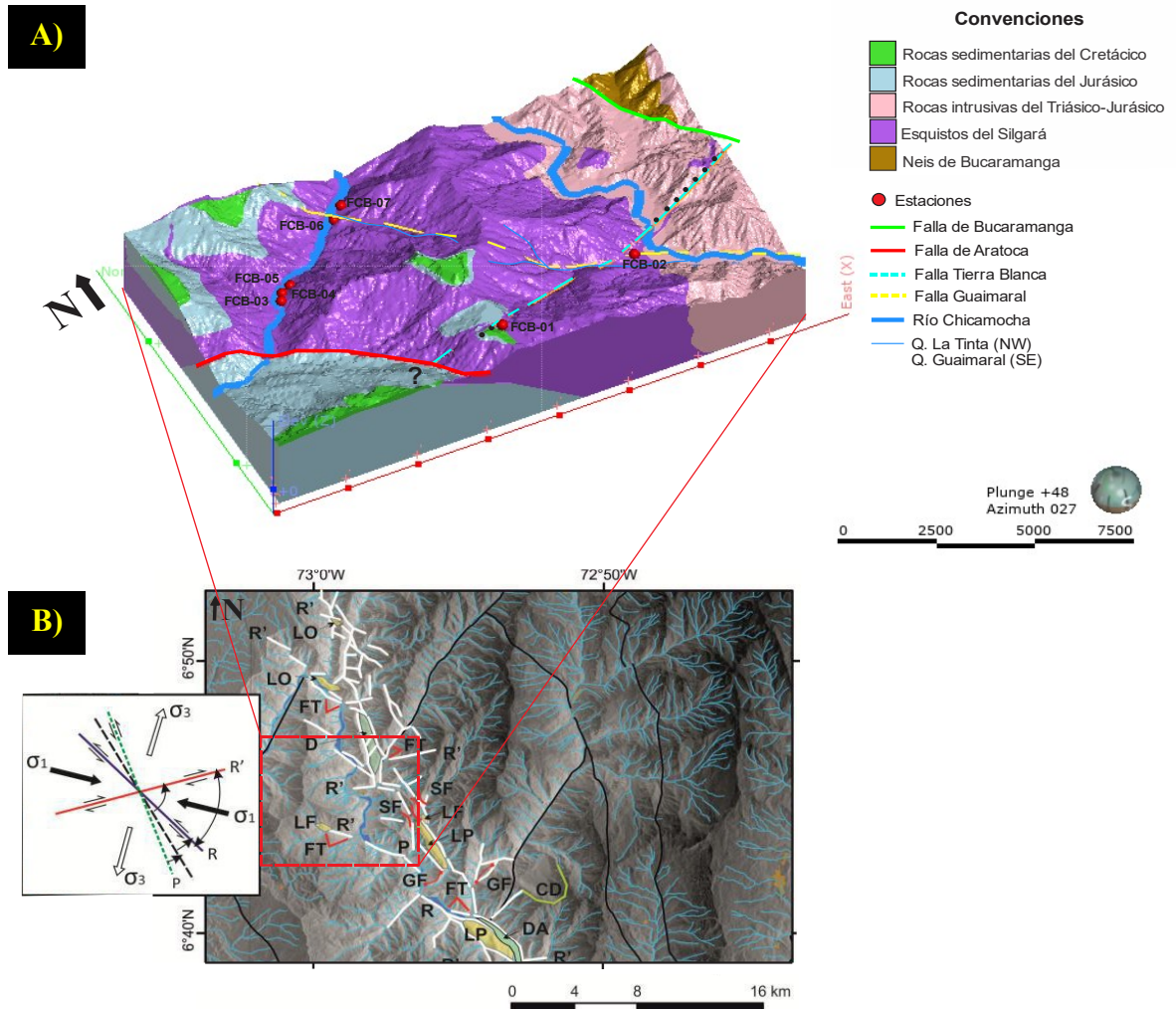
Por otro lado, en la transecta realizada en sentido Jordán-Aratoca (sector San Pedro) se identificaron otros procesos hidrotermales y de deformación. En el punto FCB-03 están representados por venas de cuarzo sigmoidales y boudinadas, concordantes con la foliación en esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita (Figura 5), que a su vez se encuentran cortados por venas de  $Br + Cal + Mop + Qtz$  sin deformación (Figuras 10 y 11). A partir de la estación FCB-06, ubicada sobre la Quebrada La Tinta y hacia el NE, se observa un cambio de litología determinado por la aparición de esquistos biotíticos, de grano muy fino, microplegados y milonitizados, es decir, que

contienen registro de un evento de metamorfismo dinámico  $M_2$ , y, posiblemente, un evento de metamorfismo hidrotermal  $M_3$ , considerando la presencia de porfidoblastos postectónicos de clorita rica en Mg cuya génesis no es clara del todo, tal vez asociada a la actividad hidrotermal en el sector (Figura 14).

Curiosamente, el punto FCB-06, que delimita el contacto entre la zona del granate y la zona de la biotita al NW de Aratoaca y el punto FCB-02 se conectan a lo largo de un lineamiento en sentido NW-SE, cuyo trazo va desde la Quebrada La Tinta, conecta con la Quebrada Guaimaral y coincide con un cambio brusco de dirección en el cauce del Río Chicamocha al SE. Este lineamiento fue cartografiado por Velandia (2017) a partir de rasgos geomorfológicos como un antiriedel ( $R'$ ) de la Falla de Bucaramanga, sin embargo, en este trabajo se propone su prolongamiento al NW hasta la Quebrada La Tinta, en el sector San Pedro, debido al cambio litológico mencionado, evidencias de cizalla (metamorfismo dinámico) y el considerable espesor de los depósitos aluviales a pocos metros de la estación FCB-06 (Figura 18). Dicha estructura, designada en este proyecto como Falla Guaimaral, pudo haber actuado como un conducto preferencial para el transporte y la infiltración de fluidos hidrotermales, que luego se emplazarían como venas hidrotermales polimineraleas en las rocas aflorantes en el punto FCB-02, y favorecerían la nucleación de individuos de clorita rica en Mg en los puntos FCB-06 y FCB-07.

**Figura 18**

*Modelo 3D de la zona de estudio y su relación con la Falla de Bucaramanga*



**LEYENDA**

- Lomo, LP: de presión; LF: de falla; LO: de obturación
- D: depresión; DA: depresión alargada (cuenca de falla)
- DD: drenaje desplazado; VL: valle lineal; R: Riedel sintético; R': Riedel antitético; P: Post Riedel
- FT: faceta triangular GF: gancho de flexión SF: silleta de falla
- TF: trinchera de falla BF: berma de falla CD: corona de deslizamiento

*Nota.* A) Modelo 3D de la zona de estudio. Modelo digital de elevación construido a partir de curvas de nivel de las planchas topográficas a escala 1:25000 120-IV-D, 121-III-C, 135-II-B y 136-I-A del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014). Cartografía geológica tomada de las planchas a escala 1:100000 número 120, 121, 135 y 136 del Servicio Geológico Colombiano (2014). B) Cartografía de la Falla de Bucaramanga a partir de rasgos morfológicos y sistema Riedel, con indicadores cinemáticos de rumbo sinistral. Modelo digital del terreno y mapa de sombras de NASA (2015). El modelo de trazos Riedel asociados a falla de rumbo sinistral es tomado de Woodcock & Schubert (1994) en Davis *et al.* (2012). Adaptado de “Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander - énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga” (p.133) por F. Velandia, 2017, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

## 8 Conclusiones

En el área comprendida entre las veredas de San Pedro y Cantabara afloran rocas metamórficas pre-Devónicas pertenecientes a la unidad Esquistos del Silgará. Estas rocas, principalmente de composición pelítica, fueron afectadas por un metamorfismo regional de tipo Barroviense, que alcanzó la transición entre las facies Esquistos Verdes y Anfibolita.

A partir de la visita de campo a la zona de estudio, los análisis petrográficos y los análisis de Difracción de Rayos X, se identificaron las siguientes relaciones litológicas, con sus respectivos contextos paragenéticos, correspondientes con el evento de metamorfismo regional ( $M_1$ ) en cada sector estudiado. En primer lugar, en el sector de Tierra Blanca, al sur de la Mesa de San Pedro, se identifican esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita de la zona del granate ( $Bt+Ms+Qtz+Ab$ ) enfrentados con filitas de la zona de la clorita ( $Ms+Qtz$ ), e intruidos por un riolitoide de edad Jurásico Temprano, sin deformación. Asimismo, en el sector El Pomarroso, se reconocen esquistos

cuarzo-moscovíticos con biotita y esquistos moscovíticos con granate, en contacto con esquistos biotíticos-hornbléndicos. Estos últimos se encuentran como un cuerpo de geometría lenticular, y presentan la asociación diagnóstica  $Hbl+Act+Bt+Ep+Pl+Qtz$ , propia de la transición entre la facies Esquistos Verdes y la facies Anfibolita con condiciones P-T aproximadas de 4-5 kbar y 500°C. Por otro lado, en el sector San Pedro afloran esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita, pertenecientes a la zona del granate ( $Bt+Ms+Qtz+Ab$ ), en contacto al NW con esquistos biotíticos, con asociación  $Bt+Ms+Qtz\pm Ab$  ( $;\pm Clc?$ ), correspondiente a la zona de la biotita.

Adicionalmente, en los tres sectores hay evidencias de procesos de deformación y metamorfismo de dislocación posteriores. En el sector Tierra Blanca, se reconocen dos eventos: un primer evento  $D_1$ , dúctil, representado por deformación tipo kinking en moscovita, y un segundo evento  $M_2$ , frágil, con desarrollo de cataclasis (metamorfismo dinámico) en blastos de cuarzo y moscovita deformada. La deformación frágil también es visible en el sector el Pomarroso, en el cual las fracturas concordantes con la foliación en los esquistos moscovíticos con granate son aprovechadas por fluidos hidrotermales, a partir de los cuales cristalizaron venas de  $Qtz\pm Pl\pm Ms\pm Bt\pm Mop$ . Estas a su vez son cortadas por vetillas rellenas de  $Chl+Ep\pm Pl\pm Cal$ . Por su parte, los esquistos biotíticos aflorantes al NW del sector San Pedro registran procesos de cizalla (evento de metamorfismo dinámico  $M_2$ ), con desarrollo de fábrica C y foliación oblicua.

Desde el punto de vista estructural, la posición estratigráfica relativa entre los esquistos y las filitas, y las evidencias identificadas de metamorfismo de dislocación, apuntan a una estructura termal invertida al sur de la Mesa de San Pedro. Esta inversión fue causada por la Falla Tierra Blanca, de edad desconocida, aunque, considerando la ausencia de deformación en el dique de riolita, se presume que se trata de una falla inversa fosilizada, que tuvo actividad pre-Jurásico Temprano, y que estaría posiblemente relacionada con la actividad de la paleo-falla de

Bucaramanga en el Mesozoico Temprano; no obstante, también podría tratarse de un evento más antiguo, como un efecto local de la Orogenia Alleghaniana a principios del Paleozoico.

Por último, el contacto entre la zona de la biotita (esquistos biotíticos milonitizados) y la zona del granate (esquistos cuarzo-moscovíticos con biotita), sumado al gran espesor de los depósitos cuaternarios y los rasgos morfológicos observados tanto en la literatura como mediante fotointerpretación en el sector San Pedro permitieron el reconocimiento de la Falla Guaimaral. Esta falla, que actúa como un antiriedel (R') de la Falla de Bucaramanga, se extiende desde la Quebrada la Tinta, al NW de Aratoca, conecta con la Quebrada Guaimaral, y finalmente coincide con una curva abrupta del Río Chicamocha al SW. Su actividad, relacionada con un desplazamiento con cinemática normal-dextral, posiblemente favoreció la circulación de fluidos hidrotermales, presentes como venas en esquistos moscovíticos con granate en el sector El Pomarroso, así como el cizallamiento de los esquistos biotíticos en el sector San Pedro durante la exhumación final de los Esquistos del Silgará en el Neógeno, en el marco de la Orogenia Andina.

En conclusión, la unidad Esquistos del Silgará, en el sector suroccidental del Macizo de Santander, fue afectada por un evento de metamorfismo regional en el Ordovícico, a partir del cual se desarrolló una estructura termal con zonas metamórficas concéntricas. Posteriormente, la Falla Tierra Blanca, de edad pre-Jurásica, invirtió la estructura termal entre las zonas del granate y de la biotita al sur de la Mesa de San Pedro. Finalmente, la Falla Guaimaral, asociada a la Falla de Bucaramanga, enfrenta a rocas de la zona de la biotita con la zona del granate al NW del municipio de Aratoca.

## 9 Recomendaciones

Realizar estudios sobre la génesis y la química mineral de la clorita identificada en los esquistos biotíticos en el sector NW de Aratoca (vereda San Pedro) para determinar si se trata de un mineral metamórfico o hidrotermal.

Analizar con mayor detalle la mineralización hidrotermal en el sector El Pomarroso, con el fin de conocer la fuente y las propiedades físico-químicas de los fluidos hidrotermales en la zona.

Llevar a cabo estudios sobre la geología estructural a escala local, con datos de diaclasas y fallas en el municipio de Aratoca, para obtener información sobre los regímenes de esfuerzo que han actuado sobre la zona y poder definir mejor los trazados de las fallas Tierra Blanca y Guaimaral, teniendo en cuenta que este proyecto se abordó desde la petrología y la petrografía de las rocas metamórficas.

Realizar estudios geocronológicos a las rocas metamórficas que afloran frente al establecimiento Tierra Blanca, para así confirmar de forma contundente si las filitas corresponden a las Filitas de San Pedro, unidad propuesta por Mantilla *et al.* (2016), o si hacen parte de la zona de la biotita de los Esquistos del Chicamocha.

### Referencias bibliográficas

- Bucher, K., Frey, M. (1994). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Berlin: Springer-Verlag.
- Bucher, B. y Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Berlin: Springer-Verlag.
- Carvajal Díaz, J.D., Mendoza Forero, J. H., & Mantilla Figueroa, L. C. (2014). Estudio geológico de los diques ígneos de edad Jurásico Temprano, aflorantes en el sector de la Mesa de San Pedro, municipio de Aratoca (Macizo de Santander, Colombia) [recurso electrónico]. UIS.
- Case, J.E., Shagam, R., & Giegengack, R.F. (1990). Geology of the northern Andes: an overview. *GSA Bulletin*, 76: 567-589.
- Castellanos, O., Rios, C., & Takasu, A. (2004). Chemically sector-zoned garnets in the metapelitic rocks of the Silgará Formation in the central Santander Massif, colombian andes: occurrence and growth history. *Boletín De Geología*, 26(42), 9–18. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/906>.
- Cediel, F., R. P. Shaw, and C. Caceres (2003). Tectonic assembly of the Northern Andean Block. En C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede (Eds.) *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79*, p. 815–848.
- Clavijo, J. (1994). Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander, Memoria explicativa. Informe interno INGEOMINAS, 67p.
- Cooper, M.B., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.J., & Taborda, A. (1995). Basin development

- and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *A.A.P.G. Bulletin*, 79: 1421-1443.
- Cordani, U., Cardona, A., Jimenez, D., Liu, D., & Nutman, A. (2005). Geochronology of Proterozoic basement inliers in Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville Belt. In: Vaughan, A., Leat, P., Pankhurst, R., (Eds), *Terrane processes at margins of Gondwana*. Geological Society, London, Special Publications, 246: 329-346.
- Davis, G., Reynolds, S., Cluth, C., 2012. *Structural geology of rocks and regions*. Third edition. John Wiley & Sons, Inc. 839p.
- Earle, S. (2019). *Physical Geology – 2nd Edition*. Victoria, B.C.: BCcampus. <https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/>.
- García, C., Ríos, C. (1999). *Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (COLOMBIA)*. Informe final del proyecto de investigación 1102-05-083-95 Colciencias - Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, p. 191.
- Goldsmith, R., Marvin, R.F., Mehnert, H.H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S. Geological Survey Professional Paper 750-D*, D44-D49.
- Hanmer S, Passchier C.W. (1991). Shear sense indicators: a review. *Geologic Survey of Canada Paper 90:1–71*.
- Ibañez-Mejía, M., Ruiz, J., Valencia, V.A., Cardona, A., Gehrels, G.E. & Mora, A.R. (2011). The Putumayo Orogen of Amazonia and its implications for Rodinia reconstructions: New U–

- Pb geochronological insights into the Proterozoic tectonic evolution of northwestern South America: Precambrian Research, 191 (1): 58-77.  
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.09.005>
- Kammer, A., & Sánchez, J. (2006). Early Jurassic rift structures associated with the Soapaga and Boyacá faults of the Eastern Cordillera, Colombia: Sedimentological inferences and regional implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 412–422.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.006>
- Mantilla, F.L.C., Bissig, T., Cottle, J.M., & Hart, C. (2012). Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). *Journal of South American Earth Sciences*, 38: 1-12.
- Mantilla-Figueroa, L.C., García-Ramírez, C.A., & Valencia, V.A. (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.  
<https://doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016002>.
- Mantilla-Figueroa, L. C., García-Ramírez, C. A., & Valencia, V. A. (2016). Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 40(155), 320–336. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.303>
- Mantilla Figueroa, L. C., Ordóñez Calderón, J. C., Cepeda Espitia, S., & Ríos Reyes, C. A. (2001). Estudio de los paleofluidos en la Formación Silgará y su relación con procesos de deformación. Sector Aratoca-Pescadero (SW del Macizo de Santander). *Boletín De*

*Geología*, 23(38),

69–75.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3979>

Mantilla Figueroa, L. C., Ríos Reyes, C. A., Gélvez Llanes, J. R., Márquez Romero, R. E., Ordóñez Calderón, J. C., & Cepeda Espitia, S. (2003). Nuevas evidencias acerca de la presencia de una banda de cizallamiento en la secuencia metapelítica de la Formación Silgará, sector Aratoca-Pescadero (region suroccidental del Macizo de Santander). *Boletín De Geología*, 25(40), 81–89.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3956>

Passchier, C.W., and Trouw, R.A.J., 2005. *Microtectonics*. Springer Berlin Heidelberg.

Restrepo-Pace, P.A., & Cedié, F. (2010). Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 764-771.

Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G., & Cosca, M. (1997). Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic–Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 150: 427-441.

Restrepo, J.J., & Toussaint, J.F. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 7: 189-193.

Restrepo, J.J. & Toussaint, J.F. (2020). Tectonostratigraphic terranes in Colombia: An update. First part: Continental terranes. En Gómez, J. & Mateus–Zabala, D. (Eds.) *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic*. Servicio Geológico Colombiano,

Publicaciones Geológicas Especiales 35, p. 37–63. Bogotá.

<https://doi.org/10.32685/pub.esp.35.2019.03>

Ríos Reyes, C.A. (1999). Chemical Compositions of the Constituent Minerals and P-T Conditions of the Lowgrade Silgará Formation Metamorphic Rocks in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. Master's Thesis, Shimane University, Matsue (Japan), p. 207

Ríos Reyes, C. A. (2001). 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. *Boletín De Geología*, 23(38), 41–49. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3976>.

Ríos Reyes, C. A., & García Ramírez, C. A. (2001). Primera ocurrencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región suroccidental del Macizo de Santander. *Boletín De Geología*, 23(38), 51–59. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3977>

Ríos, C., García, C., & Takasu, A. (2003). Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 133–154. doi:10.1016/s0895-9811(03)00025-7

Saggerson E.P., Turner L.M. (1982). General comments on the identification of chlorites in thin sections. *Mineralogical Magazine*. 1982;46(341):469-473. doi:10.1180/minmag.1982.046.341.11

- Schmid, R, Fettes, D, Harte, B, Davis E, Desmons, J (2002). A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. <https://www.researchgate.net/profile/L-R-K-Perera/post/What-is-the-basic-difference-between-texture-and-fabric-when-describing-rocks/attachment/59d63dacc49f478072ea89e7/AS%3A273762279198724%401442281421047/download/IUGS+Naming+Meta.+Rocks.pdf>
- Siivola, J. and Schmid, R. (2007) Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks: List of mineral abbreviations. IUGS Commission on the Systematics in Petrology. (PDF) Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals.
- Spear, F. S. (1995). Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Mineralogical Society of America.
- Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J. (2010). Atlas of Mylonites- and related microstructures. Springer, Berlin Heidelberg, pp 183–187.
- Velandia, F. A. (2017) Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander - énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga (tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63257?show=full>
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., y Restrepo, H. (1973). Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico XXI (1-3): 1-132.

Williams, H., Turner, F. J., & Gilbert, C. M. (1980). *Petrography: an introduction to the study of rocks in thin sections*. San Francisco, W. H. Freeman.

Woodcock, N., Schubert, C., 1994. Continental strike-slip tectonics. In: Hancock, P. (Ed.), *Continental deformation*. Pergamon Press, New York.

## Apéndices

### Apéndice A: Descripción petrográfica de las muestras analizadas

A continuación, se presentan las descripciones petrográficas de muestra de mano y en sección delgada de las muestras estudiadas. Éstas se encuentran organizadas por edad y predominancia en campo.

#### Esquisto cuarzo-moscovítico con biotita (FCB-01-A)

A nivel de muestra de mano, exhibe diferentes tonos de grises, sin embargo, también presenta tonos rosáceos y blancuzcos debidos a la meteorización supérgena de los minerales constituyentes. Se observa una estructura esquistosa bien definida por la orientación individuos de grano fino (0.1-1mm) de moscovita, intercalados por bandas de cuarzo+plagioclasa caolinizada. Los tonos rojizos y rosáceos corresponden con un proceso de oxidación en la muestra.

En sección delgada se identifica una estructura de clivaje continuo  $S_1$ , afectada por procesos de microplegamiento mayormente determinados por la orientación de los blastos de moscovita, así como microfracturamiento intra, inter y transgranular (estructura cataclástica) sobre los individuos de cuarzo.

#### Mineralogía

Minerales mayores: Qtz, Ab, Ms

Minerales esenciales: Bt

Minerales secundarios: Kln, Opq

Qtz (46%): Se observa como blastos heteroblásticos e incoloros de relieve bajo de grano fino, xenoblásticos e incoloros, a menudo con deformación dúctil, representada por extinción

ondulante y desarrollo de subjuntas como parte de un proceso de recristalización tipo bulging. Posteriormente son afectados por un evento de deformación frágil, y presentan microfracturamiento intra, inter y transgranular.

Ms (24%): Blastos de grano fino a medio y hábito hojoso, idioblásticos, de relieve bajo a medio, incoloros y heteroblásticos, los cuales poseen una dirección de exfoliación paralela a la dirección de alargamiento. En posición de polarizadores cruzados se observa su extinción recta, así como colores de interferencia vivos de segundo orden, que van desde azules celestes hasta amarillos verdosos y violetas. A menudo presentan microplegamiento y *kinking*. También, microfracturas presentes en blastos indican que el evento de deformación frágil fue el último del cual se tiene registro en la roca.

Bt (<1%): Blastos de grano fino subidioblásticos a xenoblásticos con pleocroísmo débil a medio entre colores crema y pardo. La exfoliación basal, al igual que algunas de las propiedades ópticas del mineral son difícilmente observables dada su alteración a óxidos e hidróxidos de Fe. Posee extinción recta, y exhibe colores de segundo orden, enmascarados tanto por el color del mineral como por la alteración a óxidos.

Ab (6%): Visible como blastos xenoblásticos de grano fino, incoloros y de relieve bajo. Su aspecto es muy sucio, debido a la alteración a caolinita.

Mop (18%): Individuos xenoblásticos y heteroblásticos. Su distribución es homogénea en toda la roca.

Kln (6%): Mineral secundario producto de la alteración supérgena de la plagioclasa. Identificable como agregados de grano muy fino, de aspecto sucio y terroso.

**Textura/s:** Lepidogranoblástica

**Asociación mineral:** Bt+Ms+Ab+Qtz

**Facies de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Granate

### **Esquisto cuarzo-moscovítico con biotita (FCB-02-C)**

Roca de color gris verdoso. Estructura esquistosa bien desarrollada, con planos de foliación paralelos entre sí. A nivel de muestra de mano se identifican individuos de grano fino de cuarzo, plagioclasa y biotita. También hay presencia de venas hidrotermales que van hasta los 5 cm de espesor cortando paralelamente a la foliación de la roca.

A escala macroscópica se define una estructura microplegada, afectando a la estructura primaria de clivaje continuo. Como minerales metamórficos, se reconocen individuos de biotita<sub>1</sub>, cuarzo<sub>1</sub>, plagioclasa<sub>1</sub> y moscovita<sub>1</sub>. Adicionalmente, las venas hidrotermales están compuestas por cuarzo<sub>2</sub>, minerales opacos, epidota, biotita<sub>2</sub> y moscovita<sub>2</sub>. En esta muestra es posible encontrar biotita secundaria asociada a clorita tanto en vetillas como en lentes hidrotermales. Por otra parte, en un sector de la lámina se observan procesos de cataclasis sobre las venas de cuarzo.

### **Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt<sub>1</sub>

Minerales mayores: Qtz<sub>1</sub>, Ms<sub>1</sub>, Pl<sub>1</sub>

Minerales accesorios: Zr, Rt, Ap

Minerales secundarios: Qtz<sub>2</sub>, Ms<sub>2</sub>, Bt<sub>2</sub>, Mop, Ep

Se identificaron dos generaciones de Qtz.

Qtz1 (24%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos de grano fino, homeoblásticos, incoloros y con relieve bajo, con extinción ondulante. Exhiben colores de interferencia grises de primer orden. Su distribución es homogénea en toda la roca.

Qtz2 (35%): Cristales subidioblásticos de grano medio a grueso, precipitados en venas hidrotermales que cortan paralelamente a la foliación de la roca. Presentan evidencias de cataclasis. Microfracturamiento y posterior recristalización tipo bulging. Temperatura de deformación de por lo menos 300°C, según Passchier & Trouw (2005).

Pl (3%): Blastos subidioblásticos a xenoblásticos de grano fino, homeoblásticos, incoloros, de aspecto terroso (alteración) y relieve bajo. Presentan colores de interferencia grises de primer orden.

Bt1 (4%): Individuos de grano fino con pleocroísmo entre tonos verdes a crema debido a la alteración a clorita, alargados y orientados en dirección de la foliación principal. En nicoles cruzados presentan colores de interferencia con tendencia a los azules y violetas característicos de la clorita, sin embargo, no se encuentran enteramente reemplazados por este mineral.

Agregados de Bt/Chl hidrotermal (8%): Agregados de Bt+Chl de grano fino en venillas y lentes hidrotermales. Algunos individuos se encuentran completamente reemplazados a clorita, sin embargo, otros conservan algunas de las propiedades de la biotita secundaria.

Ep (10%): Como mineral hidrotermal. En agregados de grano fino, incoloros y de relieve alto, infiltrándose por las fracturas en la muestra. En una sección de la muestra, se observan cristales automorfos de grano medio a grueso, tabulares, que exhiben colores de interferencia de tercer orden.

Mop (3%): Mineral presente en venas hidrotermales. Individuos con una distribución inequigranular, visibles relleno de fracturas en asociación con Ep, Chl y Bt. Asociados a lentes hidrotermales se encuentran cristales alargados con hábito columnar de tamaño es medio a grueso. También en granos muy finos orientados en dirección de la foliación principal.

Se identificaron dos generaciones de moscovita.

Ms1 (8%): Individuos idioblásticos a subidioblásticos de grano fino, incoloros, alargados y con exfoliación basal. Poseen colores de interferencia vivos de tercer orden, y su orientación preferencial determina la estructura de micropliegue, impuesta sobre el clivaje continuo de la roca.

Ms2 (4%): Individuos de grano medio a grueso dispuestos en venas hidrotermales o en lentes en asociación con minerales opacos y biotita/clorita.

Ap (<1%): Individuos de grano fino y redondeados, incoloros y de relieve medio.

Rt (<1%): Agregados de grano fino de individuos de color rojo intenso, con colores de interferencia enmascarados por el color del mineral.

Zr (<1%): Individuos de tamaño fino redondeados de relieve alto, con colores de interferencia de tercer orden.

**Textura/s:** Lepidogranoblástica, textura de retrogresión (Alteración de Bt1 a Chl)

**Asociación mineral:** Bt1+Ms1+Pl+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Epidota-Anfibolita

**Esquisto cuarzo-moscovítico con biotita (FCB-03-A)**

Roca metamórfica de color gris con una estructura esquistosa bien desarrollada, conformada por planos de foliación subparalelos a anastomosados. A nivel de muestra de mano se identifican blastos de grano medio a grueso de cuarzo, plagioclasa y moscovita. Adicionalmente, se observan venas hidrotermales de barita de colores blancos a rosados con hábito tipo *bladed* y calcita romboédrica, no concordantes con la foliación de la roca.

En sección delgada se determina una esquistosidad continua y suave, definida por la orientación de la moscovita, principalmente. Se identifican algunos individuos de grano fino a medio de biotita, además de los ya mencionados cuarzo y plagioclasa.

**Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt

Minerales principales: Qtz

Minerales mayores: Pl, Ms1

Minerales secundarios: Brt, Ms2, Cal, Mop

Qtz (56%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, incoloros, ligeramente heteroblásticos de grano medio y relieve bajo. Presentan colores de interferencia grises de primer orden y extinción ondulante. Adicionalmente, han sufrido recristalización dinámica de tipo bulging y rotación de subgranos, lo cual indica una temperatura de deformación superior a los 400°C (Passchier & Trouw, 2005). Su distribución es uniforme en toda la muestra.

Se reconocen dos generaciones de moscovita.

Ms1 (15%): Blastos de grano fino a medio, incoloros, alargados, con exfoliación basal y relieve bajo. Poseen colores de interferencia de tercer orden. Su orientación preferencial determina la esquistosidad continua de la roca.

Ms2 (<1%): Individuos de grano fino formados como producto de la alteración de la plagioclasa, permaneciendo como inclusiones dentro de la misma.

Pl (13%): Blastos de grano medio, ligeramente heteroblásticos, incoloros, de relieve bajo y aspecto terroso debido a la alteración a sericita. Algunos desarrollan maclas polisintéticas. A menudo con inclusiones de cuarzo. Su distribución es uniforme en toda la muestra.

Bt (3%): Blastos de grano medio a fino con pleocroísmo en tonos de verde, crema y marrón rojizo, exfoliación basal, relieve bajo y extinción recta. A menudo se encuentran parcialmente consumidos y alterado a clorita.

Brt (10%): Cristales incoloros de grano medio a grueso, precipitados en venas hidrotermales que cortan transversalmente la foliación de la roca. Se encuentran en asociación con agregados finos y amorfos de calcita y minerales opacos, posiblemente óxidos de hierro.

Cal (1%): Agregados incoloros de grano fino y relieve alto, con colores de interferencia pasteles de cuarto orden. Asociados a minerales opacos y barita en venas hidrotermales.

Mop (2%): Agregados de grano fino que hacen parte de la vena hidrotermal en asociación con Brt y Cal. También como inclusiones de grano fino en minerales metamórficos.

**Textura/s:** Lepidogranoblástica, textura de retrogresión (Alteración de Bt1 a Chl)

**Asociación mineral:** Bt+Ms1+Pl+Qtz

**Facie de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Granate

**Esquisto cuarzo-moscovítico con biotita (FCB-03-B)**

Roca de color gris, con una estructura esquistosa bien desarrollada, conformada por planos de foliación subparalelos. A escala mesoscópica se identifican blastos de grano medio a grueso de cuarzo, plagioclasa y moscovita. Asimismo, se observan venas hidrotermales de barita de colores blancos a rosados con hábito tipo *bladed* y calcita romboédrica, no concordantes con la foliación de la roca.

En sección delgada se determina una esquistosidad continua, suave, definida por la orientación de la moscovita. Se identifican algunos individuos de grano fino a medio de biotita. Adicionalmente, se identifican individuos de cuarzo hidrotermal presentes en venas junto con calcita, barita y minerales opacos.

**Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt

Minerales mayores: Qtz1, Pl, Ms1,

Minerales accesorios: Zr

Minerales secundarios: Brt, Cal, Qtz2, Ms2, Mop

Se identificaron dos generaciones de cuarzo

Qtz1 (37%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, incoloros, de grano medio y relieve bajo. Son ligeramente heteroblásticos. Presentan colores de interferencia grises de primer orden y extinción ondulante. Adicionalmente, han sufrido recristalización dinámica de tipo

migración de borde de grano de baja temperatura (bulging) y rotación de subgranos. Su distribución es uniforme en toda la muestra.

Qtz2 (3%): Cristales euhedrales de origen hidrotermal, de grano fino, poligonizados y de aspecto limpio, presentes cerca del contacto entre la roca caja y venas de Brt+Cal+Opq. No presentan evidencias de deformación intracristalina posterior, extinción ondulante ni recristalización.

Se reconocen dos generaciones de moscovita.

Ms1 (10%): Blastos finos a medios, subidioblásticos, incoloros, de relieve bajo y exfoliación basal, orientados en dirección de la foliación principal. Exhiben colores de interferencia azules y amarillos de tercer orden, y marcan la esquistosidad de la roca.

Ms2 (<1%): Individuos de grano fino formados debido a la alteración de la plagioclasa, presentes como inclusiones dentro de esta última.

Pl (13%): Blastos de grano medio, subidioblásticos e incoloros, con relieve bajo y aspecto terroso debido a la alteración a sericita (moscovita microcristalina), aunque se pueden distinguir fácilmente algunos individuos de moscovita secundaria. Maclas polisintéticas poco visibles.

Bt (1%): Blastos de grano fino a medio, subidioblásticos, con pleocroísmo en tonos verdes a crema, debido a la alteración a clorita. Poseen exfoliación basal y extinción recta.

Mop (9%): Individuos de grano fino en venas hidrotermales. También como inclusiones muy finas en biotita y moscovita.

Cal (17%): Agregados de grano muy fino y relieve muy alto en venas hidrotermales

Brt (8%): Mineral hidrotermal. Cristales incoloros de grano grueso, hábito tabular y exfoliación en dos direcciones, los cuales exhiben colores de interferencia grises de primer orden. Presente en venas hidrotermales asociado a calcita y minerales opacos.

Zr (<1%): Individuos redondeados de grano muy fino y relieve muy alto, con colores de interferencia de tercer orden.

**Textura/s:** Lepidogranoblástica, textura de retrogresión (Alteración de Bt1 a Chl)

**Asociación mineral:** Bt+Ms1+Pl+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Granate

### **Esquistos cuarzo-moscovítico con biotita (FCB-03-C)**

Macroscópicamente, presenta una estructura esquistosa bien desarrollada, con planos de foliación subparalelos a anastomosados.

En sección delgada se observa una esquistosidad grosera, a diferencia de las muestras anteriores, debido a un mayor tamaño de grano en cuarzo, con individuos de grano medio a grueso.

### **Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt

Minerales mayores: Qtz, Ms, Pl

Minerales menores: Mop

Minerales accesorios: Ap, Cal, Zr

Qtz (47%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, incoloros, heteroblásticos, de grano medio a grueso y relieve bajo. Presentan colores de interferencia grises de primer orden y extinción ondulante. Adicionalmente, han sufrido recristalización dinámica de tipo *bulging* y rotación de subgranos. Su distribución es homogénea en toda la muestra.

Pl (28%): Blastos de grano medio, homeoblásticos, incoloros, de relieve bajo y de aspecto terroso, debido a la alteración a sericita. Exhiben colores de interferencia grises de primer orden. Desarrollo de maclas polisintéticas.

Bt (3%): Individuos de grano medio a fino con pleocroísmo en tonos de verde, crema y marrón rojizo, exfoliación basal y relieve bajo. El mineral se encuentra parcialmente consumido y alterado a clorita.

Ms (21%): Blastos de grano medio, subidioblásticos, incoloros, de relieve bajo y exfoliación basal, orientados en dirección de la foliación principal. Exhiben colores de interferencia azules y amarillos de tercer orden.

Cal (<1%): Agregados de grano muy fino y relieve muy alto en venas hidrotermales.

Zr (<1%): Individuos redondeados de grano muy fino y relieve muy alto, con colores de interferencia de tercer orden.

Mop (1%): Individuos de grano fino a muy fino presentes como inclusiones en biotita.

Ap (<1%): Individuos subredondeados de grano muy fino, incoloros y de relieve medio, que presentan colores de interferencia grises de primer orden.

**Textura/s:** Lepidogranoblástica, textura de retrogresión (Alteración de Bt a Chl)

**Asociación mineral:** Bt+Ms1+Pl+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Granate

**Esquisto moscovítico con granate (FCB-02-A)**

Muestra de roca de color gris verdoso, y estructura esquistosa, marcada por planos de foliación subparalelos a anastomosados. Se identifican individuos de biotita alterada a clorita, moscovita y cuarzo, cortados paralelamente por venas de cuarzo de hasta 5 cm de espesor.

A escala microscópica se determina una estructura de clivaje continuo (grano fino) afectada por microplegamiento (estructura microplegada). Se reconocen porfidoblastos sintectónicos de granate de grano medio debido a una ligera deflexión de la  $S_1$ , flotando en una matriz conformada por Qtz, Ms1, Pl1 y Bt1. También se detalla la mineralogía y la disposición de los minerales secundarios que cristalizaron a partir de fluidos hidrotermales. Por un lado, están las venas paralelas a la foliación principal de la roca, en las cuales se identificaron cristales de Qtz2, Pl2, Bt2, Mop y Ms2, mientras que Chl, Ep, Pl2 y Cal fueron reconocidas en vetillas cortando perpendicularmente a estas venas principales.

**Mineralogía**

Minerales esenciales: Grt

Minerales mayores: Ms1, Pl1

Minerales menores: Qtz1, Bt1, Ep

Minerales accesorios: Cal, Ap, Zr

Minerales secundarios: Qtz2, Pl2, Bt2, Chl, Ms2, Mop

Se identificaron dos generaciones de cuarzo.

Qtz1 (1%): Observable como blastos incoloros y homeoblásticos de grano fino, de relieve bajo, que presentan extinción ondulante y colores de interferencia grises de primer orden. Adicionalmente, presentan recristalización de tipo bulging.

Qtz2 (39%): Cuarzo de grano medio presente en venas hidrotermales alineadas paralelamente con la foliación de la roca, de grano grueso. Deformación dúctil posterior al emplazamiento de la vena representada por migración de borde de grano de baja temperatura, rotación de subgranos y extinción ondulante.

Se identificaron dos generaciones de plagioclasa.

Pl1 (10%): Blastos de grano fino, incoloros, de relieve bajo, ligeramente heteroblásticos y de aspecto sucio debido a un proceso de saussuritización, producido por el paso de fluidos en la roca. Maclas polisintéticas poco desarrolladas, poseen colores de interferencia grises de primer orden. Su distribución es uniforme en la muestra.

Pl2 (6%): Individuos de grano fino a medio, incoloros, de relieve bajo y aspecto sucio, debido a la alteración a sericita. Maclas polisintéticas bien desarrolladas. En asociación con Bt2+Qtz2+ Opq+Cal+Ms2 en venas hidrotermales. Su distribución dentro de las venas hidrotermales es inequigranular.

Se identificaron dos generaciones de biotita.

Bt1 (2%): Blastos de relieve bajo a medio, alargados, de grano fino, con exfoliación basal y pleocroísmo en tonos verdes (alteración a clorita por metamorfismo retrógrado) hacia crema. En

nicos cruzados, exhiben colores de interferencia de tonos azulados propios de la clorita debido a la alteración, y extinción recta.

Bt2 (4%): Individuos de grano fino a medio, que presentan pleocroísmo en tonos más pardos y rojizos a colores crema, relieve bajo a medio. Se encuentran en venas hidrotermales asociados a cuarzo, plagioclasa, minerales opacos y moscovita. Su distribución es inequigranular.

Chl (7%): Mineral secundario como producto del retrometamorfismo sobre los blastos de biotita. Exhibe pleocroísmo en tonos de verde y colores de interferencia anómalos entre violetas y azules cuando el mineral primario ha perdido por completo sus propiedades ópticas a excepción de su forma (pseudomorfo).

Ep (3%): Agregados de grano muy fino y relieve muy alto, incoloros. En nicos cruzados presentan colores de interferencia amarillos de tercer orden. Ocurren como producto de alteración de las plagioclasas metamórficas (saussuritización), aunque también se encuentran precipitadas sobre vetillas que cortan a las venas hidrotermales principales de biotita, paralelas a la foliación. Asociación de vena Ep+Pl+Qtz2.

Grt (<1%): Porfidoblastos sintectónicos de grano medio, incoloros de relieve alto. Contiene inclusiones de Qtz1 y Pl1, las cuales se encuentran alineadas con la foliación externa. Existe una marcada deflexión de esta última. Contienen microfracturas intragranulares rellenas de Ep y Chl. A pesar de ser esencial, aparece como mineral accesorio.

Mop (2%): Blastos muy finos, ligeramente alargados y orientados en dirección de la foliación. También observable como cristales de grano fino dispuestos en venas hidrotermales.

Cal (<1%): Agregados de grano muy fino y relieve alto, con colores de interferencia pasteles de cuarto orden. Presente en venillas hidrotermales asociado a Chl, Ep y Pl, o rellenando microfracturas intergranulares de Qtz2.

Se identificaron dos generaciones de moscovita.

Ms1 (24%): Individuos de grano fino a muy fino, alargados, incoloros, y de relieve bajo. Presentan colores de interferencia vivos de tercer orden, y extinción recta. Su orientación define la estructura microplegada que afectó al clivaje continuo S<sub>1</sub>.

Ms2 (<1%): Este tipo de moscovita se presenta rellenando venas hidrotermales. Es homeoblástica, de grano fino y se encuentra asociada al Qtz2.

Ap (<1%): Individuos redondeados de grano muy fino, relieve medio e incoloros, con colores de interferencia grises oscuros de primer orden.

Zr (<1%): Individuos subredondeados de grano muy fino y relieve muy alto, que presentan colores de interferencia de tercer orden.

**Textura/s:** Granolepidoblástica, textura de retrogresión (alteración de biotita a clorita)

**Asociación mineral:** Bt1+Ms1+Grt+Pl1+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Epidota-Anfibolita

### **Esquisto biotítico-anfibólico (FCB-02-B)**

Roca metamórfica de color verde con estructura esquistosa, determinada por planos de foliación ligeramente plegados y subparalelos entre sí. A nivel de muestra de mano se identifican porfidoblastos de grano medio a grueso de hábito tabular a acicular, fibrosos de anfibol. Adicionalmente, se reconocen blastos finos de cuarzo, plagioclasa y biotita.

En sección delgada se determina una estructura de clivaje continuo, microplegada, definida por la orientación de blastos finos de biotita<sub>1</sub>, epidota, cuarzo, plagioclasa. Estos minerales conforman una matriz en la cual se encuentran embebidos porfidoblastos sintectónicos de grano medio de hornblenda y actinolita. Adicionalmente, se identifica una segunda generación de biotita postectónica con un tamaño de grano mayor a la biotita<sub>1</sub> y discordante con respecto a la S<sub>1</sub>.

### **Mineralogía**

Minerales esenciales: Hbl

Minerales mayores: Act, Qtz, Bt<sub>1</sub>,

Minerales menores: Pl, Ep<sub>1</sub>, Cal

Minerales accesorios: Bt<sub>2</sub>, Mop, Ap

Minerales secundarios: Ep<sub>2</sub>

Qtz (13%): Observable como individuos homeoblásticos de grano fino incoloros, subidioblásticos a xenoblásticos de grano medio y relieve bajo, distribuidos en bandas asociados a Pl, Bt<sub>1</sub> y Ep<sub>1</sub>. Exhiben colores de interferencia grises de primer orden, extinción ondulante y recristalización tipo bulging.

Se reconocen dos generaciones de biotita.

Bt<sub>1</sub> (40%): Blastos homeoblásticos finos, idioblásticos a subidioblásticos, con pleocroísmo entre tonos marrones y crema, en ocasiones verdes, debidos a su alteración a clorita por retrometamorfismo. Exhiben colores de interferencia de segundo orden, y su extinción es recta. A

menudo presentan kinking. Su orientación marca el microplegamiento que afectó a la foliación principal de la roca.

Bt2 (<1%): Segunda generación de biotita postectónica. Individuos idioblásticos, con mayor tamaño de grano (fino a medio) que la Bt1 y sin deformar que cortan a la S1.

Pl (3%): Individuos incoloros, homeoblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos de grano fino y aspecto sucio debido a la alteración a sericita. Poco desarrollo de maclas polisintéticas.

Act (10%): Porfidoblastos subidioblásticos, sintectónicos de grano medio con pleocroísmo en tonos de verde, exfoliación en dos direcciones poco desarrolladas, alargados y orientados en dirección de la foliación principal, también deformados (microplegamiento) con la misma. Contienen inclusiones de cuarzo y epidota. En nicols cruzados presentan colores de interferencia amarillos a grises de primer orden. Algunos individuos se encuentran alterados a epidota, presentando una disminución en el tamaño de grano, subida del relieve y aumento de los colores de interferencia.

Hbl (22%): Porfidoblastos medios a gruesos, sintectónicos, con pleocroísmo en tonos oliva y verdes, un poco más oscuros que los observados en la actinolita. Posee exfoliación clara en dos direcciones a 60° y 120°. Contiene inclusiones de cuarzo y epidota, y la foliación externa hace una ligera deflexión. Algunos individuos se encuentran en proceso de alteración a actinolita por metamorfismo retrógrado, dada por la atenuación del pleocroísmo y una baja en los colores de interferencia desde naranjas de segundo orden a grises y amarillos de primer orden.

Ep1 (5%): Blastos de grano muy fino a fino, incoloros y de relieve alto, con colores de interferencia amarillos de tercer orden. Se encuentran orientados con la foliación principal S1, y como inclusiones en porfidoblastos de Hbl y Act.

Ep2 (1%): Epidota secundaria, resultante del proceso de alteración de la actinolita. No se encuentra orientada.

Mop (<1%): Blastos de grano fino, ligeramente alargados y orientados con la foliación principal.

Ap (<1%): Individuos redondeados de grano fino y relieve medio. Colores de interferencia grises de primer orden.

Cal (2%): Mineral precipitado en venas hidrotermales que cortan paralelamente a la foliación principal de la muestra. Agregados de grano muy fino y relieve alto que presentan colores de interferencia pasteles de cuarto orden.

**Textura/s:** Porfidoblástica, en una matriz granolepidoblástica, textura de retrogresión (alteración de Bt a Chl, Hbl a Act y Act a Ep2)

**Asociación mineral:** Hbl+Act+Ep1+Bt1+Bt2+Pl+Qtz

**Facie de metamorfismo:** Epidota-Anfibolita

### **Esquisto biotítico (FCB-06-A)**

Roca metamórfica de color gris verdoso y brillo sedoso. A nivel de muestra de mano se observa una lineación de crenulación, sobre una estructura esquistosa y de micropliegue, con planos de foliación subparalelos entre sí. Se reconocen individuos muy finos de biotita, moscovita y cuarzo.

En sección delgada se determina una estructura de clivaje continuo, afectada por una estructura de micropliegue. Se identifican blastos muy finos de biotita, moscovita, y cuarzo. Estos conforman una matriz en la cual se encuentran embebidos porfidoblastos posttectónicos de clorita.

**Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt

Minerales mayores: Qtz, Ms, Mop

Minerales menores: Chl

Minerales secundarios: Qtz2

Minerales accesorios: Zr

Bt (29%): Individuos de hábito hojoso, subidioblásticos y homeoblásticos, de grano fino a muy fino y relieve bajo a medio, con un pleocroísmo entre anaranjado y marrón claro y exfoliación en una sola dirección. Se encuentran distribuidos uniformemente en toda la muestra, orientados en dirección de la foliación principal.

Se identificaron dos generaciones de cuarzo.

Qtz (41%): Individuos muy finos, incoloros, de bajo relieve, homeoblásticos, subidioblásticos, con colores de interferencia grises de primer orden. Se encuentran alargados en dirección de la foliación principal.

Qtz2 (1%): Individuos homeoblásticos e idioblásticos de grano fino, rellenando venas hidrotermales.

Ms (19%): Blastos incoloros de hábito hojoso, homeoblásticos, de grano muy fino y bajo relieve, orientados en dirección de la foliación principal, en contacto neto con biotita y cuarzo. Exhiben colores de interferencia de tercer orden y extinción recta.

Chl (3%): Porfidoblastos postectónicos de relieve muy bajo, heteroblásticos, de hábito hojoso, con exfoliación en una sola dirección y pleocroísmo tenue, en el cual el mineral pasa de ser incoloro a un verde muy claro. En nicoles cruzados exhiben un color de interferencia marrón anómalo.

Mop (8%): Individuos subidioblásticos de grano muy fino a ultrafino, homeoblásticos, elongados, orientados en dirección de la foliación principal. Presente como inclusiones en clorita y biotita.

Zr (<1%): Individuos incoloros, xenoblásticos, con geometría ovalada, como inclusión en cuarzo.

**Textura/s:** Porfidoblástica, dentro de una matriz granolepidoblástica

**Asociación mineral:** Bt+Ms+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Biotita

### **Esquisto biotítico (FCB-07-A)**

Roca de color gris verdoso y brillo sedoso. A nivel de muestra de mano tiene el aspecto de una filita gracias a su brillo y su tamaño de grano fino a muy fino. Presenta lineación de estiramiento, sobre una estructura esquistosa, marcada por planos de foliación paralelos entre sí.

Al microscopio se identifican porfidoblastos de clorita, flotando en una matriz conformada por individuos finos a muy finos y orientados de biotita, moscovita y cuarzo. Sin embargo, en algunas secciones de la muestra se observa una conminución en el tamaño de grano de la matriz, causada por un proceso de milonitización. Este metamorfismo dinámico causa la formación de

estructuras como la fábrica C y el desarrollo de foliación oblicua, las cuales definen una estructura milonítica, impuesta sobre la estructura esquistosa primaria.

### **Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt

Minerales mayores: Qtz, Ms

Minerales menores: Chl, Mop

Minerales secundarios: Qtz2

Bt (23%): Individuos homeoblásticos de grano fino a muy fino, subidioblásticos, de hábito hojoso, con pleocroísmo típico entre anaranjado y marrón claro, exfoliación basal y relieve bajo a medio. Se encuentra distribuido de forma homogénea en toda la muestra, orientados en dirección de la banda C. Muchos de estos blastos se encuentran estirados debido a la milonitización.

Se identificaron dos generaciones de cuarzo.

Qtz1 (38%): Individuos subidioblásticos de grano muy fino con bajo relieve, incoloros y homeoblásticos. Exhiben extinción ondulante y colores de interferencia en tonos grises de primer orden. Se encuentran elongados y orientados en un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la banda C, es decir, en dirección de la foliación oblicua.

Qtz2 (<1%): Individuos homeoblásticos y subidioblásticos de grano fino, relleno de venas hidrotermales.

Ms (30%): Individuos incoloros de hábito hojoso, homeoblásticos, de relieve bajo y exfoliación en una dirección, abundantes y uniformemente distribuidos en la muestra, que

presentan colores de interferencia vivos de tercer orden. Principalmente, se orientan siguiendo la dirección de la foliación oblicua a la banda C.

Chl (3%): Porfidoblastos postectónicos de hábito hojoso, heteroblásticos, que presentan un pleocroísmo débil a tonos verdes muy claros, exfoliación en una dirección y relieve muy bajo. Exhiben colores de interferencia anómalos en tonos marrones muy oscuros. Algunos blastos presentan deformación de tipo *kinking*.

Mop (5%): Individuos de grano muy fino a ultrafino, subidioblásticos a xenoblásticos, a menudo con geometrías elongadas y estiradas, dispuestos como inclusiones en Chl y uniformemente distribuidos a lo largo de la matriz.

**Textura/s:** Porfidoblástica, dentro de una matriz granolepidoblástica

**Asociación mineral:** Bt+Ms+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Biotita

### **Esquisto biotítico (FCB-07-B)**

Muestra de color gris verdoso. Presenta lineación de estiramiento, sobre planos de foliación bien desarrollados y paralelos entre sí. Se identifican individuos de grano muy fino de cuarzo, biotita y moscovita.

Microscópicamente se determina una estructura de clivaje continuo, afectada por un metamorfismo dinámico, a partir del cual se produce una estructura milonítica. Esta se encuentra definida por el desarrollo de bandas C y una foliación oblicua. Mineralógicamente, la roca está

compuesta por una matriz de cuarzo, biotita y moscovita, en la cual se encuentran porfidoblastos de clorita postectónicos.

### **Mineralogía**

Minerales esenciales: Bt

Minerales mayores: Qtz1, Ms, Mop

Minerales menores: Chl

Minerales secundarios: Qtz2

Minerales accesorios: Rt

Bt (25%): Individuos de grano muy fino y hábito ojoso con plecroísmo entre anaranjado y marrón claro, homeoblásticos, subidioblásticos, relieve bajo a medio y exfoliación en una dirección. Se encuentran orientados en dirección de las bandas C. Algunos blastos se encuentran deformados (estirados) debido al proceso de milonitización.

Se identificaron dos generaciones de cuarzo.

Qtz1 (14%): Individuos incoloros, homeoblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos, de relieve bajo y extinción ondulante, ligeramente elongados y orientados preferencialmente en dirección de la foliación oblicua (45°) a las bandas C.

Qtz2 (9%): Individuos incoloros, subidioblásticos de grano fino, presentes en venas hidrotermales como mineral secundario.

Ms (38%): Blastos incoloros de hábito hojoso, subidioblásticos, de grano muy fino, relieve bajo y exfoliación basal. Presentan colores de interferencia de tercer orden y extinción recta. Se

encuentran abundante y homogéneamente distribuidos en toda la sección, orientados principalmente en dirección de la foliación oblicua a las bandas C.

Chl (4%): Pordidoblastos posttectónicos, heteroblásticos, con pleocroísmo débil entre tonos incoloros a verdes muy claros, exfoliación basal y hábito hojoso. En nicoles cruzados, presentan colores de interferencia en tonos marrones anómalos. Contienen inclusiones de cuarzo.

Mop (9%): Individuos de grano muy fino a ultrafino, xenoblásticos y ligeramente heteroblásticos, frecuentemente con geometrías alargadas y estiradas, distribuidos uniformemente a lo largo de la matriz.

Rt (<1%): Individuos muy finos de color rojo y relieve alto, xenoblásticos, con bordes curvos, como inclusiones en Qtz.

### **Filita moscovítica (FCB-01-B)**

Macroscópicamente exhibe un color rosado, con tonos anaranjados y blancuzcos, y brillo sedoso. Se identifican planos de foliación bien definidos y subparalelos entre sí. Dificilmente son identificables con lupa individuos de Ms de grano muy fino.

Al microscopio se ratifica una estructura de clivaje continuo  $S_1$ , definida por la orientación preferencial de individuos muy finos de Ms, minerales opacos y cuarzo. Adicionalmente, hay presencia de cuarzo relíctico, causando un pequeño espaciamento en el clivaje en un sector de la muestra.

### **Mineralogía**

Minerales principales: Ms

Minerales mayores: Qtz1

Minerales secundarios: Mop

Minerales relícticos: Qtz0

Qtz:

Se identificaron dos generaciones de cuarzo:

Qtz0 (1%): Visible como microlitones de grano fino, subangulares con contactos longitudinales a concavo-convexos, con colores de interferencia grises a amarillos de primer orden y extinción ondulante.

Qtz1 (3%): Blastos de tamaño muy fino, subidioblásticos, incoloros y de relieve muy bajo, que exhiben colores de interferencia grises de primer orden y extinción ondulante.

Ms (65%): Individuos homeoblásticos de tamaño muy fino, incoloros y de relieve muy bajo, con colores de interferencia vivos de tercer orden y extinción recta. Distribución abundante y homogénea en la roca.

Mop (31%): Individuos subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos, ampliamente distribuidos por toda la roca. A menudo en agregados amorfos de grano muy fino, aunque también se pueden observar individuos de grano fino a medio orientados en la dirección de la foliación de la roca.

**Textura/s:** Granolepidoblástica

**Asociación mineral:** Ms+Qtz1

**Facie de metamorfismo:** Esquistos Verdes

**Zona de metamorfismo:** Clorita