

Petrología de las rocas metabásicas y básicas, asociadas a la unidad Esquistos del Chicamocha, aflorantes en la franja Pescadero – Aratoca, sector SW del Macizo de Santander

Juan Pablo Jaimes Bermudez

Trabajo de Grado para Optar el título de Geólogo

Director

Carlos Alberto García Ramírez

Geólogo Ph.D.

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Geología  
Bucaramanga

2020

### **Dedicatoria**

*A Dios, quien como guía ha estado presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome,  
dándome fuerzas y rodeándome de maravillosas personas.*

*A mis padres, por sus consejos, apoyo incondicional, compañía, y por llevarme a ser quien  
hoy soy.*

*A mis hermanos, por ser un maravilloso ejemplo a seguir y por su complicidad en todo lo que  
emprendo.*

*A mi novia, Tatiana, por ser mi polo a tierra y apoyarme siempre.*

*A mis amigos, por todos los buenos momentos vividos en los últimos cinco años, en especial,  
por todos los recuerdos que quedaron, los cuales guardo con aprecio.*

### **Agradecimientos**

A mi director Carlos Alberto García Ramírez, por sus consejos, enseñanzas, compañía y apoyo, no solo durante el desarrollo del presente proyecto, sino también durante mis últimos años de carrera.

Al personal administrativo de la Escuela de Geología por su colaboración durante mi formación.

A los profesores de la Escuela de Geología por el conocimiento brindado durante mi proceso de formación.

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción.....	10
1. Objetivos.....	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Metodología .....	12
2.1 Pre-campo .....	12
2.2 Campo .....	13
2.3 Laboratorio.....	13
2.4 Oficina.....	13
3. Marco geológico regional.....	13
4. Antecedentes .....	18
5. Ocurrencia de las rocas metabásicas y básicas .....	22
5.1 Metabasitas .....	23
5.1.1 Tramo A.....	23
5.1.2 Tramo B .....	28
5.1.3 Tramo C .....	30

5.2. Diabasas .....	35
6. Metamorfismo .....	37
6.1 Metamorfismo regional.....	37
6.2 Metamorfismo dinámico.....	38
7. Discusión .....	39
8. Conclusiones .....	43
9. Recomendaciones.....	44
Referencias bibliográficas.....	45

**Lista de Figuras**

*Figura 1.* Mapa de localización del área de estudio. Abreviaciones: WC, Cordillera Occidental, CC, Cordillera Central, EC, Cordillera Oriental. Modificado de Vásquez *et al.* (2010) y Mantilla *et al.* (2016a). ..... **¡Error! Marcador no definido.**

*Figura 2.* Mapa geológico del área de estudio y localización de muestras de mano. Modificado de Mantilla *et al.* (2016a). ..... 16

*Figura 3.* Morfología y relaciones de campo de los esquistos micáceo-anfibólicos con granate del Tramo 1. A, B, C, E y F. Cuerpos globulares alargados con foliaciones concordantes a la foliación regional. D. Estructura y mineralogía de los esquistos, y su relación con las venillas de cuarzo (Qtz) que los cortan. .... 23

*Figura 4.* Esquistos micáceo-anfibólicos del Tramo 1. A. Superficies planares (plano de foliación) resultantes del fracturamiento de la roca. B. Porfidoblastos de anfíboles (Anf) en cúmulos y agregados de biotita (Bt). C. Mineralogía de la roca y su relación espacial. Abreviaciones tomadas de Siivola y Schmid (2007). ..... 27

*Figura 5.* Relación espacial entre los esquistos micáceo-anfibólicos con granate, las rocas encajantes (cuarcitas y esquistos muscovíticos con granate), los cuerpos pegmatíticos, las venas de cuarzo. A, C, D, E y F. Pegmatitas foliadas fuertemente aplanadas. B. Vena de cuarzo con estructuras “*pinch-and-swell*” asimétricas. .... 27

*Figura 6.* Anfibolitas del Tramo 2. A y B. Cuerpos globulares alargados con foliaciones concordantes a la foliación regional. C. Mineralogía de la anfibolita. .... 29

*Figura 7.* Cuerpos metabásicos del Tramo 3. A. Relación entre las metabasitas, las cuarcitas y las venas de cuarzo (Qtz) en quebradas. B, C y D. Cuerpos metabásicos paralelos y subparalelos

a la foliación regional. E. Lentes de anfibolita con estructura granofelsa en esquistos muscovíticos con granate..... 31

*Figura 8.* Estructura néisica de los cuerpos metabásicos del Tramo 3. .... 32

*Figura 9.* Venas del Tramo 3. A, F, H. Boudines asimétricos de carácter dúctil. B, C, E. Boudines simétricos. D. Estructuras “*pinch-and-swell*”. G. Plegamientos en esquistos muscovíticos y venas de cuarzo..... 33

*Figura 10.* Esquistos muscovíticos con granate (Grt). A. Estructura milonítica. B, C y D. Plegamientos de los esquistos muscovíticos y formación de foliaciones  $S_{n+1}$ . .... 34

*Figura 11.* Diques de diabasa. A, C, D, E, F. Diques de espesores no mayores a 1 m discordantes a la foliación regional. B. Textura porfirítica de la roca. .... 36

*Figura 12.* Evidencias de deformación dúctil. A y B. Boudines asmétricos de carácter dúctil. C. Boudines simétricos. D. Estructuras “*pinch-and-swell*” simétricas y asimétricas. Modificado de Fossen (2010)..... 39

*Figura 13.* Modelos evolutivos entre el Cámbrico y el Silúrico. Tomado de van der Lelij et al. (2015) y Tazzo-Rangel *et al.* (2018)..... 42

## Resumen

**TÍTULO:** Petrología de las rocas metabásicas y básicas, asociadas a la unidad Esquistos del Chicamocha, aflorantes en la franja Pescadero – Aratoca, sector SW del Macizo de Santander\*

**AUTOR:** Juan Pablo Jaimes Bermudez\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Metabasitas, Básico, Metamorfismo, Facies y zonas de metamorfismo, Macizo de Santander.

### DESCRIPCIÓN:

Todas las unidades que componen el basamento metamórfico del Macizo de Santander son cortadas por diques de composición básica y presentan rocas metabásicas a manera de lentes e intercalaciones. Al SW del Macizo de Santander afloran esquistos micáceo-anfibólicos, anfibolitas y diabasas, en la parte media y baja de la secuencia metamórfica.

Las metabasitas afloran en tres tramos sobre la carretera nacional entre los municipios de Piedecuesta y Aratoca. El Tramo A (el afloramiento más norte de la franja) se ubica en la Zona del Granate-Estauroлита y consta de esquistos micáceo-anfibólicos con granate, con morfologías globulares y con foliaciones concordantes a la foliación regional de la unidad Esquistos del Chicamocha. El Tramo B (después del Parque Nacional del Chicamocha) se ubica en la Zona del Granate y consta de anfibolitas con morfología globular y foliaciones concordantes a la foliación regional. El Tramo C (sobre la carretera al municipio de Cepitá) se ubica en la Zona del Granate-Estauroлита y consta de anfibolitas biotíticas y esquistos biotíticos-anfibólicos, a manera de lentes e intercalaciones y con foliaciones concordantes a la foliación regional. Las diabasas se identificaron en la Zona del Granate-Estauroлита y se presentan a manera de diques discordantes.

El estudio realizado presenta la ocurrencia de estas litologías en la unidad Esquistos del Chicamocha, su relación espacial y su importancia para refinar los modelos evolutivos.

---

\* Trabajo de Grado

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

### Abstract

**TITLE:** Petrology of the metabasic and basic rocks, associated to the Chicamocha Schists unit, between Pescadero and Aratoca, southwestern flank of the Santander Massif, Colombia\*

**AUTHOR:** Juan Pablo Jaimes Bermudez\*\*

**KEY WORDS:** Metabasites, Basic, Metamorphism, Metamorphic facies and zones, Santander Massif.

### DESCRIPTION:

All the units from the metamorphic basement in the Santander Massif are crosscut by basic dykes and have lenses and intercalations of metabasic rocks. In the southwestern area of the Santander Massif, mica-amphibole schists, amphibolites and diabases outcrop at the middle and lower part of the metamorphic sequence.

The metabasites outcrop in three sections on the national road that connects Piedecuesta and Aratoca. The A section (the northernmost outcrop of the stripe) is located at the Garnet-Staurolite Zone and contains garnet-bearing mica-amphibole schists, with globular morphologies and with concordant foliations with the regional foliation of the Chicamocha Schists unit. The B section (after the Chicamocha National Park) is located at the Garnet Zone and contains amphibolites, with globular morphologies and with concordant foliations with the regional foliation. The C section (on the road to Cepitá) is located at the Garnet-Staurolite Zone and contains biotite amphibolites and biotite-amphibole schists, as lenses and intercalations, and with concordant foliations with the regional foliation. The discordant diabase dykes were identified at the Garnet-Staurolite zone.

The present project shows the occurrence of these lithologies in the Chicamocha Schists unit, their spatial relationship and their significance to improve the models.

---

\* Bachelor Thesis

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

## Introducción

Las rocas metamórficas del basamento cristalino del Macizo de Santander han sido agrupadas en las unidades Neis de Bucaramanga, Ortoneis, Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro (Mantilla *et al.*, 2016b); las tres últimas anteriormente agrupadas en la ampliamente conocida Formación Silgará (Ward *et al.*, 1973), así como un conjunto de rocas muy bajo grado, las cuales son mencionadas como las unidades Metasedimentitas de la Quebrada La Virgen, Metasedimentitas de Guaca y Floresta Metamorfoseada (Mantilla *et al.*, 2016a). Rocas ígneas de edad Silúrica, Triásico-Jurásicas y del Mioceno intruyen al basamento cristalino (Ward *et al.*, 1973; Mantilla *et al.*, 2011). En el Macizo de Santander se han reportado en diversos trabajos rocas de composición básica (anfíbolitas, diabasas, metagabros, ortoneises máficos, esquistos anfíbolíticos) en todas las unidades anteriormente mencionadas (Amaya, 2012; García *et al.*, 2017; Restrepo-Pace, 1995; Rey, 2015; Ward *et al.*, 1973). Sin embargo, a pesar de que es evidente la existencia de un gran componente básico en el Macizo de Santander, la mayoría de los estudios se han limitado a mencionar la presencia de estas rocas y no han profundizado en sus características mineralógicas, petrográficas y geoquímicas, dejando un vacío en el conocimiento geológico de la región. Rey (2015) describe algunas anfíbolitas pertenecientes a la unidad Ortoneis en el sector central del Macizo de Santander y muestra su afinidad calcoalcalina alta en potasio. El emplazamiento sintectónico de los protolitos de las rocas de la unidad Ortoneis (incluyendo las anfíbolitas) en la unidad Esquistos del Silgará es evidenciado por la presencia de foliaciones con similar orientación y mismo grado de metamorfismo entre ambas unidades (Castellanos *et al.*, 2008; García *et al.*, 2017; García *et al.*, 2005; Restrepo-Pace, 1995; Van der Lelij *et al.*, 2015). Así mismo, Mantilla *et al.* (2016a) reportan esquistos anfíbolíticos y anfíbolitas en el área de estudio

con morfología lenticular intercalados con esquistos pelíticos hacia la base y parte media de la unidad Esquistos del Chicamocha, y con pico metamórfico en facies epidota-anfibolita y facies anfibolita.

Para tener una visión completa, entender el origen y la evolución metamórfica de la unidad Esquistos del Chicamocha, es importante conocer las características de todos los grupos composicionales que la conforman (metapelitas, metagrauvas y metabasitas). La información petrológica y geoquímica de los cuerpos metabásicos, los cuales ocurren como niveles entre las metapelitas y las metagrauvas de la unidad Esquistos del Chicamocha, en el SW del Macizo de Santander, es escasa (Castellanos, 1999; Ríos *et al.*, 2003), por lo cual generan un particular interés. Debido a lo anterior, es importante conocer los tipos de rocas que componen las metabasitas, sus condiciones de emplazamiento, características del protolito, condiciones presión-temperatura (P-T) del metamorfismo y su relación espacial y/o genética con otras litologías de la unidad Esquistos del Chicamocha. Entender su origen y evolución permitirá aportar conocimiento al magmatismo básico del Macizo de Santander.

La presente investigación se enfocará al estudio petrográfico de los cuerpos metabásicos y básicos presentes en la unidad Esquistos del Chicamocha, que afloran en los sectores de Pescadero – Aratoca. El propósito principal es caracterizar las rocas metabásicas y básicas basado en sus características composicionales, texturales y estructurales, e inferir las condiciones de metamorfismo de las metabasitas.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Establecer la ocurrencia y litotipos de las rocas metabásicas y básicas en la unidad Esquistos del Chicamocha, aflorantes en la franja Pescadero – Aratocha.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar, basado en las características composicionales, estructurales y texturales, la variedad de rocas metabásicas y básicas aflorantes en el área de estudio.
- Definir la relación espacial de las rocas metabásicas y básicas con rocas de la unidad Esquistos del Chicamocha.
- Inferir el grado de metamorfismo de las metabasitas a partir de las condiciones P-T de las rocas huéspedes.

## **2. Metodología**

Este proyecto se desarrollará en tres fases: pre-campo, campo, laboratorio y trabajo de oficina.

### **2.1 Pre-campo**

Esta etapa consiste en la recopilación y análisis bibliográfico de libros, artículos, tesis de grado, mapas y otros archivos de interés realizados en el área de estudio y zonas cercanas. El acceso a estos documentos será a través de las bases de datos de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y revistas geológicas indexadas. Esta fase permitirá tener un primer

acercamiento a lo que se podría encontrar, planear las campañas de campo y muestro, y analizar las incógnitas existentes relacionadas al tema de la investigación.

## **2.2 Campo**

Durante esta fase se estudiará la morfología de los contactos entre los cuerpos básicos y metabásicos, y las rocas de la unidad Esquistos del Chicamocha, la relación entre las foliaciones de las rocas metabásicas y rocas encajantes, y sus características texturales, texturales y composicionales. Adicionalmente, se tomarán datos estructurales de foliación, lineaciones y fracturas, y se realizará un muestreo de estas litologías en la franja Pescadero-Aratoca.

## **2.3 Laboratorio**

Esta fase comprende el análisis petrográfico macroscópico para determinar la mineralogía y las relaciones texturales y estructurales de las muestras.

## **2.4 Oficina**

En esta fase se realizará el análisis e interpretación de datos, descripción de muestras, determinación de condiciones del metamorfismo y la elaboración del informe final, el cual incluye toda la información y resultados obtenidos durante la ejecución de todas las fases, junto con las conclusiones. Se utilizaron las abreviaturas minerales (Siivola y Schmid, 2007) recomendadas por la Subcomisión sobre la Sistemática de Rocas Metamórficas (SCMR) de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS).

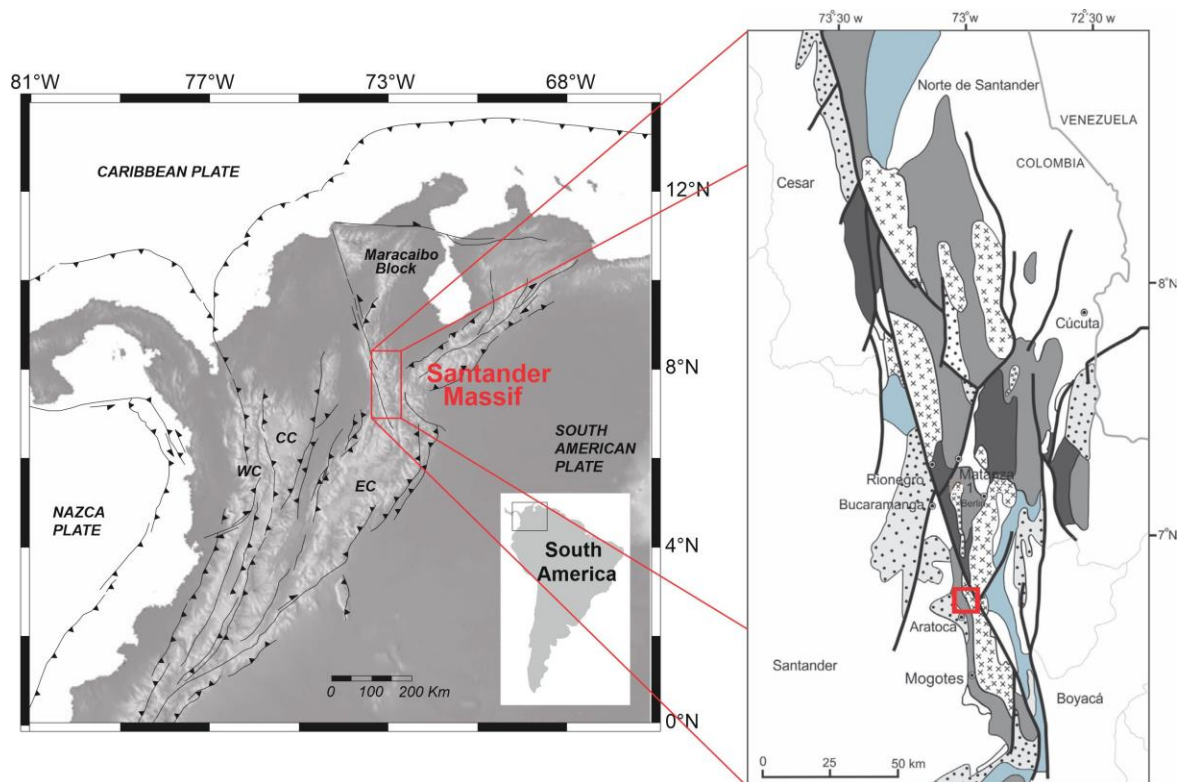
## **3. Marco geológico regional**

El área de estudio se ubica al SW del Macizo de Santander. Este macizo es un bloque exhumado limitado al oeste por el sistema de Fallas de Bucaramanga y al este por el sistema de Fallas Pamplona – Cubogón – Mercedes (García *et al.*, 2005).

El basamento cristalino del Macizo de Santander está compuesto principalmente por rocas metamórficas agrupadas principalmente en las unidades Neis de Bucaramanga, Ortoneis, Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro (Mantilla *et al.*, 2016b), así como un conjunto de rocas muy bajo grado, las cuales son mencionadas como las unidades Metasedimentitas de la Quebrada La Virgen, Metasedimentitas de Guaca y Floresta Metamorfoseada (Mantilla *et al.*, 2016a). Rocas ígneas de edad Silúrica, Triásico-Jurásicas y del Mioceno intruyen al basamento cristalino (Ward *et al.*, 1973; Mantilla *et al.*, 2011).

Figura 1.

Mapa de localización del área de estudio. Abreviaciones: WC, Cordillera Occidental, CC, Cordillera Central, EC, Cordillera Oriental. Modificado de Vásquez *et al.* (2010) y Mantilla *et al.* (2016a).



La unidad Neis de Bucaramanga (también llamada Complejo Bucaramaga; Royero y Clavijo, 2001) de edad Meso-Neoproterozoico (Cordani *et al.*, 2003) está compuesta por paraneises cuarzofeldespáticos y hornbléndicos, anfibolitas, cuarcitas, migmatitas, mármoles y granulitas. A pesar de que su contacto no ha sido determinado con certeza, Ward *et al.* (1973) proponen que esta unidad está suprayacida por la Formación Silgará (divida por Mantilla *et al.*, 2016a en Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro. En el presente documento, cuando se haga referencia a esta formación, será para agrupar las unidades anteriormente mencionadas, sin olvidar que estas tienen características temporales, texturales y composicionales distintas).

Los Esquistos del Silgará se ubican en la franja Matanza-Cachirí y presentan litologías metapelíticas y metasemipelíticas (principalmente esquistos y cuarcitas) en facies Esquistos Verdes, zona del granate (temperaturas entre los 340 y 450°C). Tiene como protolitos rocas sedimentarias con máximas edades de depositación (U-Pb en circones detríticos) Neoproterozoicas (Mantilla *et al.*, 2016a). A partir de datos isotópicos Lu-Hf, Mantilla *et al.* (2016b) sugieren que los zircones ígneos detríticos de esta unidad provienen de la erosión de arcos magmáticos juveniles Paleo y Mesoproterozoicos, y de arcos magmáticos Neoproterozoicos inicialmente juveniles, afectados por contaminación cortical.

Los Esquistos del Chicamocha (unidad en la que se ubican las metabasitas a estudiar en el presente trabajo) corresponden a la secuencia inferior de la franja Pescadero-Aratoca, ubicada al SW del Macizo de Santander. Está compuesta por meta-psamitas, semipelitas y metabasitas (esquistos muscovíticos intercalados con cuarcitas, y lentes de anfibolitas y esquistos anfibólicos) con pico metamórfico en facies anfibolita, zona de la sillimanita, con temperaturas entre 660 y 700°C y presiones entre 5.5 y 7.2 kbar (García y Ríos, 2004). En esta franja es

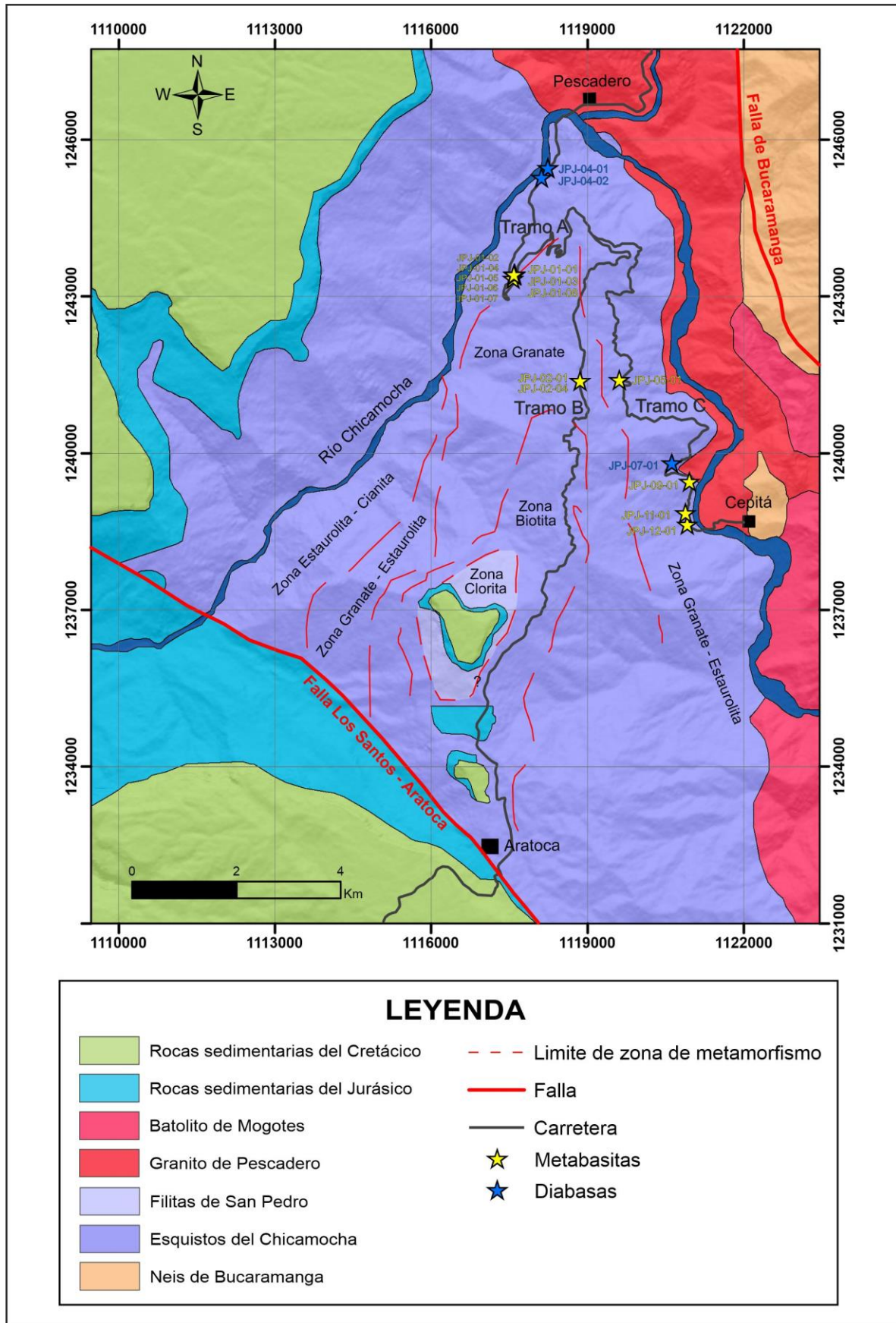
posible identificar las zonas de la biotita, granate, estaurolita-cianita y sillimanita. Tiene como protolitos rocas sedimentarias con máximas edades de depositación (U-Pb en circones detríticos) Cámbricas (Mantilla *et al.*, 2016a). A partir de datos isotópicos Lu-Hf, Mantilla *et al.* (2016b) sugieren que los circones ígneos detríticos de esta unidad provienen de la erosión de arcos magmáticos juveniles Paleo y Mesoproterozoicos y arcos magmáticos Neoproterozoicos inicialmente juveniles, afectados por contaminación cortical.

Las Filitas de San Pedro corresponden a la secuencia superior de la franja Pescadero-Aratoca. Está compuesta por metapsamitas y semipelitas (filitas cloríticas, metareniscas y metalimolitas) en facies subesquistos verdes. Tiene como protolitos rocas sedimentarias con máximas edades de depositación (U-Pb en circones detríticos) Ordovícicas tardías (Mantilla *et al.*, 2016a). A partir de datos isotópicos Lu-Hf, Mantilla *et al.* (2016b) sugieren que los circones ígneos detríticos de esta unidad provienen de la erosión de arcos magmáticos juveniles Mesoproterozoicos y arcos magmáticos Neoproterozoicos inicialmente juveniles, afectados por contaminación cortical. También presenta circones ígneos con edades Ordovícicas tempranas y medias.

La unidad Ortoneis fue definida por Ward *et al.* (1973) y corresponde a neises cuarzofeldespáticos, biotíticos, anfibólicos y anfibolitas con foliación concordante a la foliación regional del Neis de Bucaramanga y los Esquistos del Silgará (García *et al.*, 2005). Las edades reportadas para esta unidad y las relaciones de campo indican un emplazamiento sintectónico en el Ordovícico Temprano (Mantilla *et al.*, 2012; Van der Lelij *et al.*, 2015; García *et al.*, 2017).

Figura 2.

*Mapa geológico del área de estudio y localización de muestras de mano. Modificado de Mantilla et al. (2016a).*



Las Metasedimentitas de Guaca y La Virgen están compuestas por filitas, metareniscas, metalimolitas y metaconglomerados con edades Ordovícico-Silúrico (Royero y Clavijo, 2001).

Las unidades metamórficas anteriormente mencionadas son intruidas por rocas graníticas calco-alcalinas Silúricas (Mantilla *et al.*, 2012); batolitos y plutones calco-alcalinos Triásico-Jurásicos (Grupo Plutónico de Santander), como el Granito de Pescadero, el cual aflora ampliamente en la zona inferior de la franja Pescadero-Aratoca (Ward *et al.*, 1973); diques de diabasa (objeto del presente estudio), y rocas porfiríticas del Mioceno alteradas hidrotermalmente y asociadas con mineralizaciones (Mantilla *et al.*, 2013).

El basamento cristalino del Macizo de Santander está cubierto por rocas sedimentarias Devónicas (localmente con metamorfismo), Pérmicas, Triásico-Jurásicas y Cretácicas (Ward *et al.*, 1973).

La identificación, análisis y muestreo de las litologías fueron desarrollados sobre la Ruta Nacional 45A, entre los municipios de Piedecuesta y Aratoca, en el Cañón del Chicamocha, y por la carretera que conduce al municipio de Cepitá, en el mismo sector (Figura 2).

#### **4. Antecedentes**

Rocas ígneas y metamórficas de afinidad máfica ocurren en todas las unidades del basamento cristalino del Macizo de Santander y consisten en anfibolitas, metagabros, ortoneises máficos, esquistos anfibolíticos y diabasas. Ward *et al.* (1973), Cordani *et al.* (2005), García *et al.* (2005) Amaya (2012), García *et al.* (2017), Zuluaga *et al.* (2017) reportan anfibolitas en todas las unidades del basamento cristalino del Macizo de Santander.

En el Neis de Bucaramanga, las anfibolitas se encuentran presentes en todas las zonas donde esta unidad aflora y en algunas áreas están asociadas principalmente a rocas calcosilicatadas

(Ward *et al.*, 1973). Como muestra de esto, los autores reportan una banda de mármol, anfíbolita y otras rocas calcosilicatadas aflorantes entre los ríos Suratá y Tona, y en las pendientes del lado oeste del río Suratá. García *et al.* (2005) reportan anfíbolitas en la zona central del Macizo de Santander (área de Califorma-Vetas-Mutiscua) y Amaya (2012) describe paleosomas de migmatitas de esta unidad en la zona de Berlín, los cuales corresponden a anfíbolitas ricas en hornblenda y biotita.

En la unidad Ortoneis, García *et al.* (2005) reportan rocas máficas con estructura masiva y débilmente foliada, ricas en hornblenda y en menor proporción plagioclasa y biotita. Estudios petrológicos y geoquímicos más profundos fueron realizados por Rey (2015) en las litologías de esta unidad. En el sector de Pamplona, la autora describe cuerpos anfibólicos presentes a manera de diques, compuestos por hornblenda, muscovita, esfena y plagioclasa; su paragénesis principal es Hbl+Pl+Qtz+Ms. En el sector de Mutiscua, la anfíbolita está compuesta por una hornblenda 1, una hornblenda 2, una plagioclasa 1 (bytownita; Deer *et al.*, 1966), una plagioclasa 2 (bytownita; Deer *et al.*, 1966), una biotita (meroxeno; Tröger, 1982), una epidota 1, una epidota 2 y una esfena; sus paragénesis son Pl1+Hbl1 y Hbl2+Pl2+Bt+Ep2. En el sector de Berlín-Ranchadero-Silos, la anfíbolita está compuesta por hornblenda, cuarzo, plagioclasa y biotita; su paragénesis es Hbl+Qtz+Pl+Bt. Mediante geoquímica de roca total, la autora corrobora algunas características de estas anfíbolitas: su carácter meta-alumínico, su composición máfica poco diferenciada, su afinidad calcoalcalina y calcoalcalina alta en potasio y su empobrecimiento en tierras raras ligeras.

El emplazamiento sintectónico de los protolitos de las rocas de la unidad Ortoneis (incluyendo las anfíbolitas) en la unidad Esquistos del Silgará es evidenciado por la presencia de foliaciones con similar orientación y mismo grado de metamorfismo entre ambas unidades (Restrepo-Pace *et*

*al.*, 1997; García *et al.*, 2005; Castellanos *et al.*, 2008; García *et al.*, 2017; Van der Lelij *et al.*, 2015) en facies anfibolita, zonas de la estauroлита y cianita (Rey, 2015), con presiones y temperaturas en el rango de los 4,3-10 kbar y 540-690°C y edades U-Pb LA-ICP-MS en circones de 471 y 419 Ma (García *et al.*, 2017), concordantes con los 477 Ma y las edades entre 451 Ma y 483 Ma reportados por Mantilla *et al.* (2012), Van der Lelij (2013) y Van der Lelij *et al.* (2015), respectivamente. Sin embargo, estas edades fueron obtenidas en ortoneises de composición cuarzofeldespática, diorítica, tonalítica y granodiorítica, y no directamente de las anfibolitas de la unidad.

En la Formación Silgará, García *et al.* (2005) mencionan que esta unidad está compuesta por rocas metapelíticas con intercalaciones de litologías cuarzofeldespáticas, metacarbonatadas y metamáficas. Ríos y Castellanos (2014) analizaron anfibolitas en un área cercana al municipio de Mutiscua, en la zona central del Macizo de Santander (dentro de los Esquistos del Silgará, definidos por Mantilla *et al.*, 2016), las cuales contienen de manera inusual, estauroлита, atribuida a procesos metasomáticos.

En la unidad Esquistos del Chicamocha (franja Pescadero-Aratoca), Ward *et al.* (1973) mencionan por primera vez la presencia de esquistos anfibolíticos en el área de estudio, compuestos mineralógicamente por un 70% de hornblenda y tremolita, un 20% de plagioclasa saussuritizada y cantidades menores de biotita, epidota y apatito, intercalados con esquistos cuarzomicáceos con granate y estauroлита. Unos años más tarde, Castellanos (1999) realizó un estudio petrográfico, en el cual evidencia la intercalación de esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos pelíticos, esquistos máficos y cuarcitas, con clorita, muscovita, biotita, hornblenda, granate, estauroлита, sillimanita, andalucita y cloritoide. De igual forma, también en el área de estudio, Ríos y García (2001) reportaron por primera vez la presencia de los tres polimorfos de

aluminio en las rocas pelíticas de la zona. En su trabajo, los autores aclaran que, a pesar de encontrarse estos tres minerales, solo la andalucita y la cianita se encuentran en estabilidad y que la sillimanita (fibrolita) fue producto de reacciones químicas que involucraron la descomposición de granate y biotita. Adicionalmente, este trabajo permitió definir la zona de la estaurolita-cianita (donde también se encuentran las metabasitas), añadidas a la zonación previamente existente (biotita, granate, estaurolita y sillimanita, esta última definida por una sillimanita primaria; Ríos, 1999, como se cita en Ríos y García, 2001). Posteriormente, Ríos *et al.* (2003) describen esquistos metabásicos con biotita, plagioclasa, cuarzo y anfíbol, principalmente hornblenda, que en algunas muestras se presenta como porfidoblastos postectónicos. Estos esquistos se encuentran intercalados con rocas metapelíticas en la zona de la estaurolita. Las principales asociaciones son Hbl+Pl+Qtz+Bt y Ep+Bt+Hbl+Pl con minerales accesorio como apatito, circón, calcita y óxidos de Fe y Ti. Los autores también realizaron análisis geoquímicos de anfíboles de rocas pelíticas y máficas, y obtuvieron los siguientes resultados: los anfíboles son cálcicos con composiciones que varían entre tschermakita y magnesihornblenda, y su composición de Al y Ti les permitió deducir que se encuentra en las zonas de la biotita, del granate y en la transición entre la zona del granate y la zona de la estaurolita-cianita. Para la zona de la estaurolita definieron temperaturas entre 590-612°C y presiones entre 6.6-7.5 kbar, valores dentro de los rangos definidos por Rey (2015) para ortoneises de la unidad Ortoneis en la zona central del Macizo de Santander. Más recientemente, Mantilla *et al.* (2016a) confirman algunas de las principales características litológicas de la zona de estudio. Reportan esquistos anfíbolicos y anfíbolitas, con morfología lenticular, intercalados con esquistos pelíticos hacia la base y parte media (zona de la estaurolita-cianita y sillimanita) de la unidad Esquistos del Chicamocha, y con pico metamórfico en facies epidota-anfíbolita y facies anfíbolita. Los principales minerales en

estas litologías son hornblenda, plagioclasa, epidota, cuarzo en menor cantidad, biotita, magnetita, ilmenita, circón, apatito, esfena y rutilo.

En el área de estudio también se han reportado rocas ígneas de composición básica dispuestas a manera de diques, sin embargo, estos estudios se han limitado a mencionar su ocurrencia, sin hacer descripciones más detalladas (Ward *et al.*, 1973; Castellanos, 1998; Mantilla *et al.*, 2002). En algunas descripciones se hace referencia a las litologías metabásicas y básicas como las mismas, generando confusión.

Los estudios anteriormente mencionados constituyen un aporte al conocimiento de la sección suroccidental del Macizo de Santander. Sin embargo, debido a la escasez de estudios enfocados a las litologías metabásicas y básicas aflorantes en el área, aún no son del todo claras sus características texturales, estructurales y composicionales, su historia metamórfica y su significado geológico dentro de la unidad Esquistos del Chicamocha y dentro del Macizo de Santander. Por lo anterior, el presente trabajo se enfocará a responder los interrogantes anteriormente planteados.

### **5. Ocurrencia de las rocas metabásicas y básicas**

La identificación, análisis y muestreo de las litologías fueron desarrollados sobre la Ruta Nacional 45A, entre los municipios de Piedecuesta y Aratoca, en el Cañón del Chicamocha, y por la carretera que conduce al municipio de Cepitá, en el mismo sector (Figura 2). A continuación, se presentan las ocurrencias de las metabasitas y las rocas básicas sobre estas carreteras, y sus relaciones de campo con las demás rocas metamórficas de la unidad Esquistos del Chicamocha.

## 5.1 Metabasitas

Estos cuerpos fueron identificados en tres franjas: un tramo A, ubicado inmediatamente después de Pescadero; un tramo B, ubicado también sobre la carretera nacional, aproximadamente 1 km después del Parque Nacional del Chicamocha (Panachi); y un tramo C, ubicado sobre la carretera al municipio de Cepitá (Figura 2). Para cada zona se describirán todos los tipos de roca presentes, ya que la relación entre las metabasitas y las demás rocas es crucial para entenderlas.

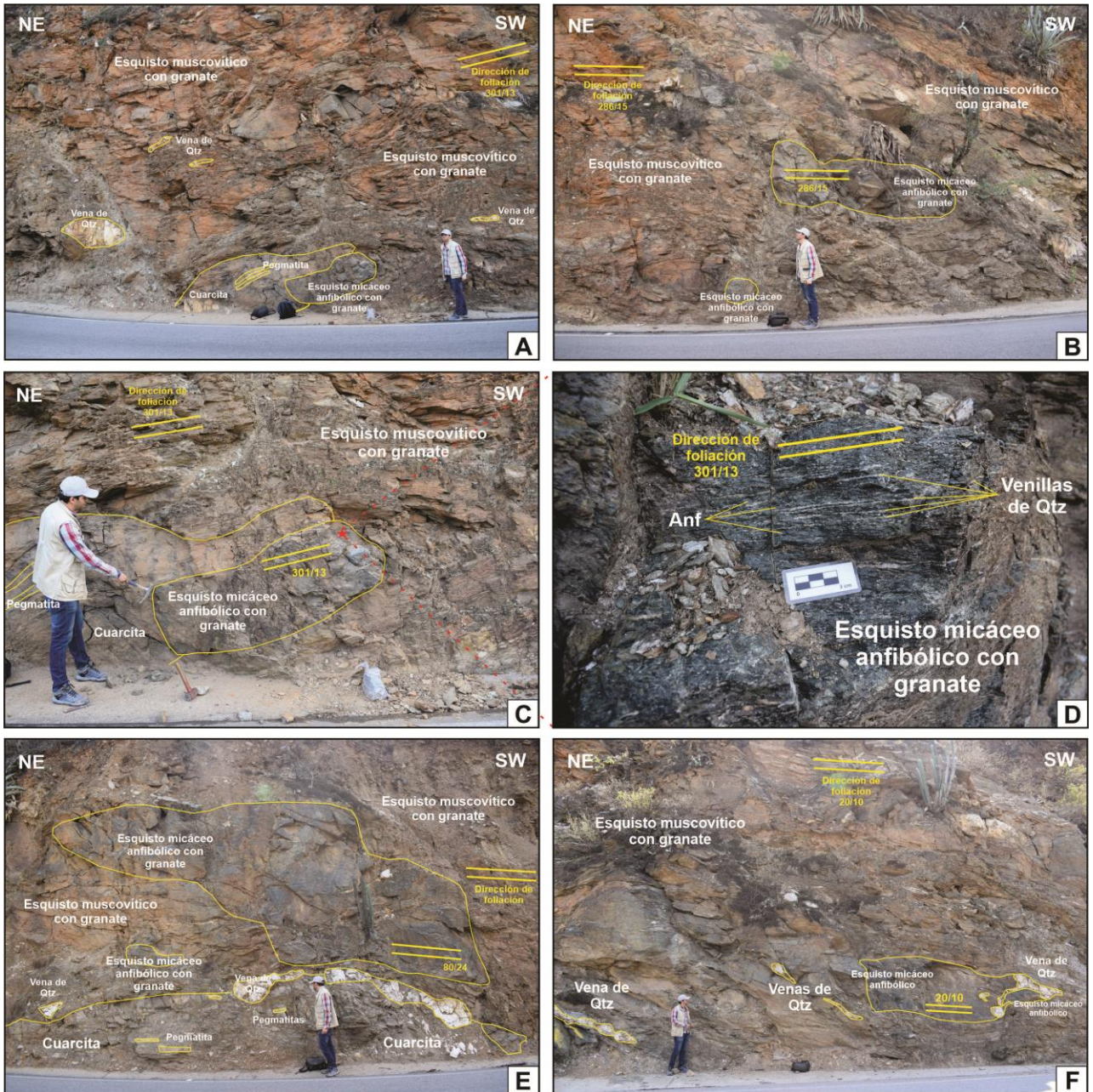
### 5.1.1 Tramo A

Este primer tramo es una franja de aproximadamente 120 m de longitud compuesta por esquistos muscovíticos con granate, cuarcitas, pegmatitas foliadas y esquistos micáceo-anfibólicos con granate. Se ubica de la zona del granate-estauroлита de la unidad Esquistos del Chicamocha, sin embargo, está cerca del límite entre esta zona y la zona del granate (Figura 2), lo cual podría explicar por qué no se identificó estauroлита en los esquistos pelíticos. Se destaca en esta zona la amplia presencia de venas de cuarzo con espesores que varían desde 1 cm hasta 1 m.

**5.1.1.1 Esquisto micáceo-anfibólico con granate.** Se identificaron 4 grandes cuerpos dentro de esta zona, con dimensiones que varían entre 1 m de longitud a más de 4 m, dispuestos de manera globular y ligeramente alargados en dirección a la foliación de las rocas encajantes (300/15), las cuales corresponden a intercalaciones de esquistos muscovíticos con granates que definen la textura porfidoblástica, y cuarcitas biotíticas con estructura néisica. La foliación de estos esquistos micáceo-anfibólicos es concordante con la foliación de las rocas encajantes (Figura 3).

Figura 3.

*Morfología y relaciones de campo de los esquistos micáceo-anfibólicos con granate del Tramo 1. A, B, C, E y F. Cuerpos globulares alargados con foliaciones concordantes a la foliación regional. D. Estructura y mineralogía de los esquistos, y su relación con las venillas de cuarzo (Qtz) que los cortan.*



Estos esquistos micáceo-anfibólicos están compuestos de anfíboles, plagioclasa, muscovita, biotita, cuarzo y granate dispuestos en bandas que resultan en la estructura esquistosa de la roca.

Anfíboles (35%) se presentan como cristales de forma tabular de grano grueso (5-15mm). Definen la foliación y la textura porfidoblástica (Figura 4), y están distribuidos uniformemente en toda la muestra. También se presentan en la matriz de la roca, mostrando menores tamaños. Forman bandas minerales con plagioclasa, biotita, cuarzo y granate. Estas bandas generan superficies muy planas frente al rompimiento, donde se observa de forma más clara la anteriormente mencionada textura porfidoblástica. Biotita (25%) se presenta de dos formas: (1) a manera de agregados circulares verdosos (menores a 1 mm) distribuidos uniformemente en la roca, los cuales definen una textura moteada, y a los que principalmente se encuentra asociado espacialmente el granate y (2) a manera de cristales aislados en la matriz de la roca, con sus tonalidades oscuras comunes y de grano menor al fino. Ambas morfologías definen la foliación. Plagioclasa (15%) se encuentra dentro de la matriz, junto con la biotita, muscovita, cuarzo y granate, con tamaños menores a 1 mm. Muscovita (15%) se encuentra en la matriz de la roca, mejor observable en las superficies planares. Tiene tamaños menores a 1 mm. Cuarzo (7%) encontrado también en la matriz de la roca junto con la muscovita, la plagioclasa, la biotita y el granate. Granate (3%) tiene tamaños menores 1 mm y un color rojizo intenso. Se presentan espacialmente dentro de los agregados circulares de biotita; no todos los agregados los contienen, pero sí la mayoría de los granates se encuentran en esas regiones (Figura 4).

Se encuentran ampliamente cortado por venas de cuarzo (Qtz) concordantes con la foliación. Estas pueden ser subdivididas en dos tipologías: (1) venas con espesores entre 0.2 y 0.7 cm, con textura masiva (Dong, 1995) y concordantes con la foliación regional. Se caracterizan por exhibir estructuras de deformación dúctiles entre las que se encuentran boudines simétricos y asimétricos, y contactos rectos con sus rocas encajantes (esquistos micáceo-anfibólicos y cuarcitas; Figura 5); y (2) venas con espesores entre 30 y 50 cm de espesor, con textura masiva

(Dong, 1995) y concordantes con la foliación regional. Sus evidencias de deformación son más limitadas debido a que existe un menor contraste de ductilidad (relacionado con los mayores espesores). Sin embargo, se pueden evidenciar boudines simétricos no desarrollados completamente; sus contactos con las rocas cajas no son rectos (Figura 5).

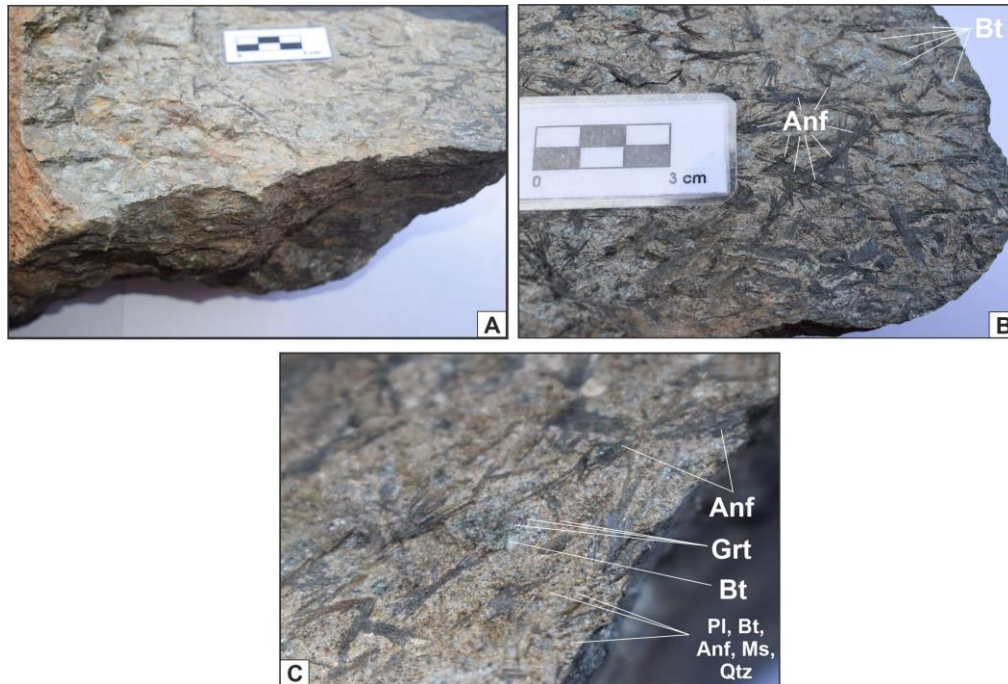
En el tramo se identificaron también pegmatitas de composición granítica a granodiorítica y de grano grueso (0.5 cm), con espesores menores a los 10 cm, paralelas a la foliación regional, con cristales orientados de forma concordante con la foliación de las rocas encajantes y fuertemente aplanados (Figura 5). Está compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino, biotita y anfíbol; los anfíboles y las biotitas definen una clara dirección foliación (continua), concordante a la foliación externa. El cuarzo, el feldespato alcalino y las plagioclasas se disponen en bandas polimineraleas que enbogan a los anfíboles y biotitas.

**5.1.1.2 Esquisto micáceo-anfibólico sin granate.** Se observan anfíboles, plagioclasa, muscovita, biotita y cuarzo dispuestos en bandas que resultan en la estructura esquistosa de la roca.

Anfíboles (38%) se presentan como cristales de forma tabular de grano grueso (5-15mm). Definen la foliación y la textura porfidoblástica (Figura 3), y están distribuidos uniformemente en toda la muestra. También se presentan en la matriz de la roca, mostrando los menores tamaños. Forma bandas minerales con plagioclasa, biotita, cuarzo y granate. Estas bandas generan superficies muy planas frente al rompimiento, donde se observa de forma más clara la anteriormente textura porfidoblástica. Biotita (25%) se presenta de dos formas: (1) a manera de agregados circulares verdosos definen una textura moteada y (2) a manera de cristales aislados en la matriz de la roca, con sus tonalidades oscuras comunes y con tamaños menores a 1 mm. Ambas morfologías definen la foliación.

Figura 4.

*Esquistos micáceo-anfibólicos del Tramo 1. A. Superficies planares (plano de foliación) resultantes del fracturamiento de la roca. B. Porfidoblastos de anfíboles (Anf) en cúmulos y agregados de biotita (Bt). C. Mineralogía de la roca y su relación espacial. Abreviaciones tomadas de Siivola y Schmid (2007).*

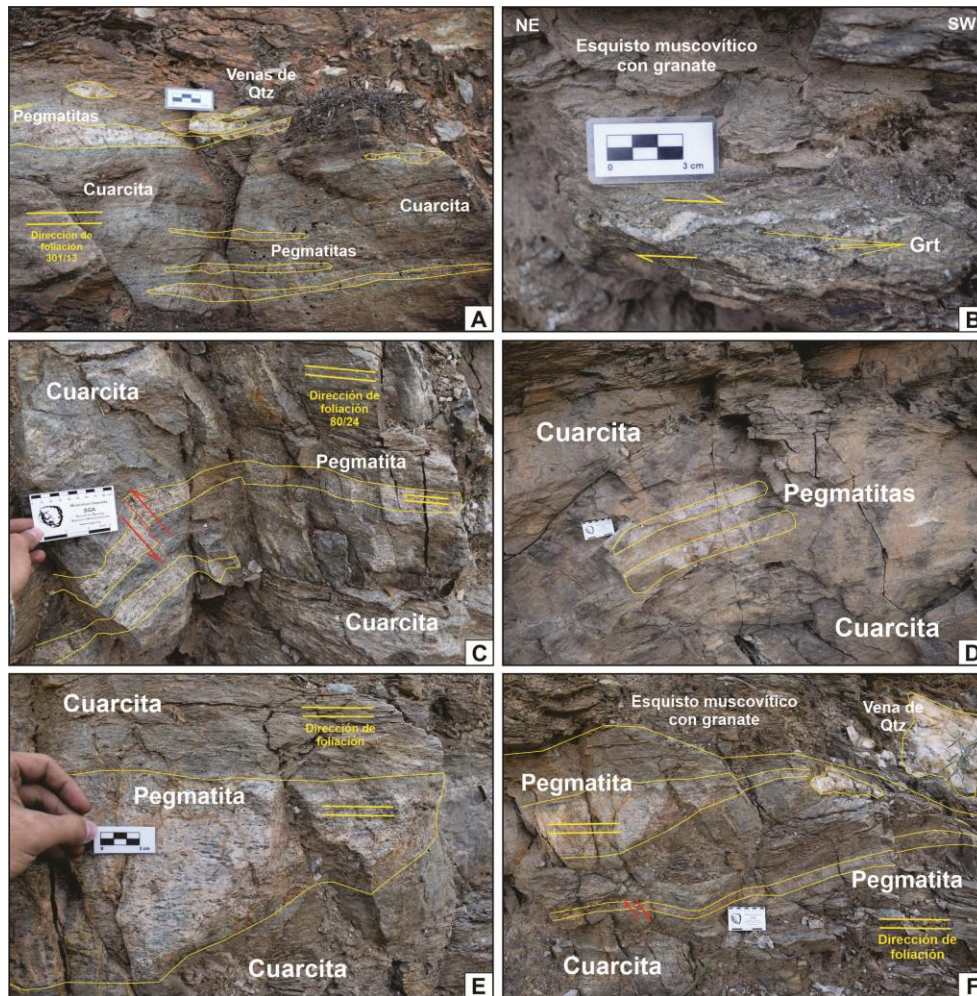


Plagioclasa (15%) se encuentra dentro de la matriz, junto con la biotita, muscovita, cuarzo y granate, con tamaños menores a 1 mm. Muscovita (15%) se encuentra en la matriz de la roca, mejor observable en las superficies planares. Tiene tamaños menores a 1 mm. Cuarzo (7%) encontrado también en la matriz de la roca junto con la muscovita, la plagioclasa, la biotita y el granate.

Debido a que es muy similar al esquistos micáceo-anfibólico con granate y a que ambos se encuentran en la zona del granate-estauroлита, se atribuye la ausencia de granate a que la formación de este mineral no se dio homogéneamente dentro del tramo.

Figura 5.

*Relación espacial entre los esquistos micáceo-anfibólicos con granate, las rocas encajantes (cuarcitas y esquistos muscovíticos con granate), los cuerpos pegmatíticos, las venas de cuarzo. A, C, D, E y F. Pegmatitas foliadas fuertemente aplanadas. B. Vena de cuarzo con estructuras “pinch-and-swallow” asimétricas.*



**5.1.2 Tramo B**

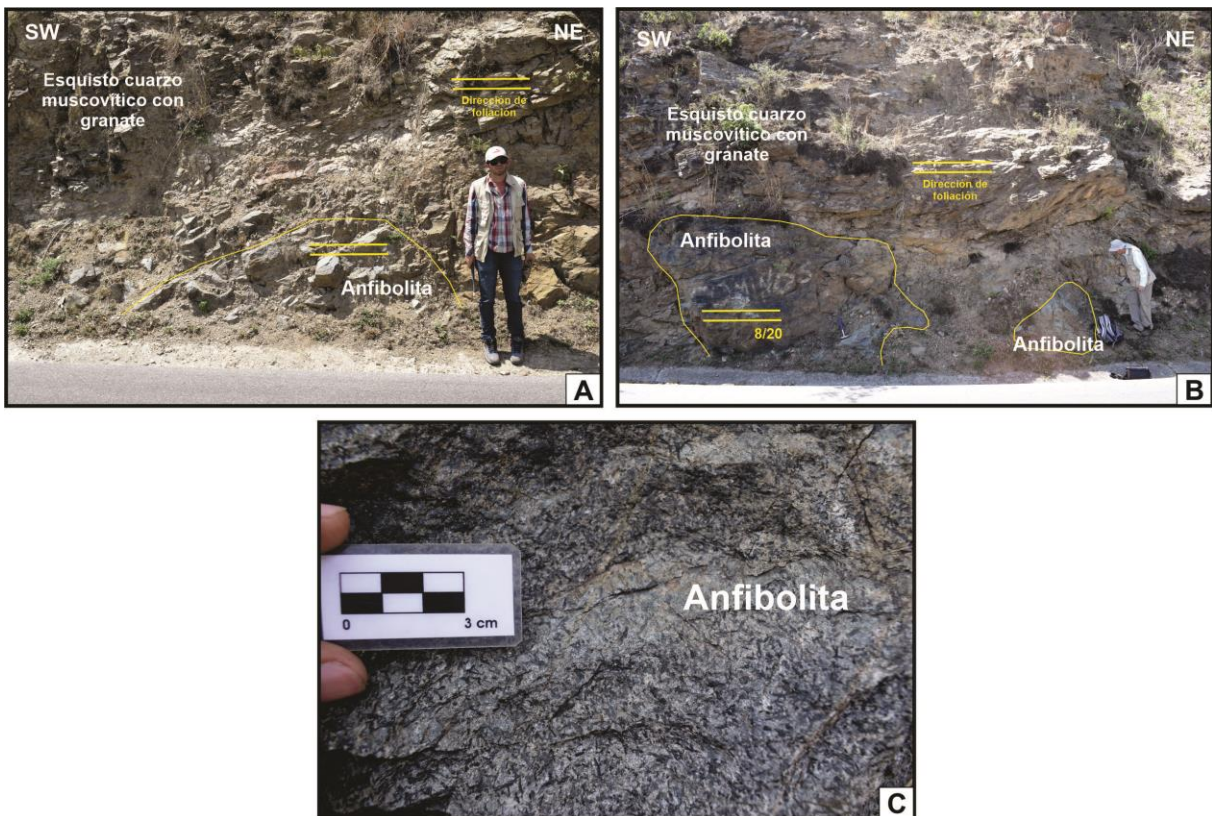
Esta segunda zona es una franja de aproximadamente 30 m de longitud compuesta por anfibolitas y esquistos cuarzo-muscovíticos con granate. Se ubica en la zona del granate, de la unidad Esquistos del Chicamocha, sin embargo, está cerca del límite entre esta zona y la zona de

la biotita (parte alta de la zona del granate; Figura 2). No se identificaron evidencias de deformación.

**5.1.2.1 Anfibolita.** Se identificaron 3 cuerpos dentro de esta zona, con dimensiones que varían entre 1 m de longitud a más de 2 m, dispuestos a manera globular, tanto alargados en dirección a la foliación (8/20) de las rocas encajantes (esquistos cuarzo-muscovíticos con granate y textura porfidoblástica), como alargados de forma discordante. Su foliación es concordante con la foliación regional de los esquistos cuarzo-muscovíticos con granate (Figura 6).

Figura 6.

*Anfibolitas del Tramo 2. A y B. Cuerpos globulares alargados con foliaciones concordantes a la foliación regional. C. Mineralogía de la anfibolita.*



Presenta una estructura néisica y se observan anfíboles, plagioclasa, biotita y cuarzo. Anfíboles (35%) se presentan como cristales de forma tabular de grano medio (~2 mm). Definen la foliación y la textura porfidoblástica (Figura 6), y están distribuidos uniformemente en toda la muestra. A diferencia de los esquistos micáceo-anfibólicos con granate del Tramo A, estos anfíboles se encuentran dispersos en la roca y no forman cúmulos. Forma bandas minerales con plagioclasa, biotita y cuarzo. Plagioclasa (35%) se encuentra dentro de la matriz, junto con la biotita y el cuarzo, con tamaños menores a 1 mm. Biotita (20%) se presenta como manera de cristales aislados en la matriz de la roca, con sus tonalidades oscuras comunes y con tamaños menores a 1 mm. Cuarzo (10%) encontrado también en la matriz de la roca junto con la plagioclasa y la biotita.

### **5.1.3 Tramo C**

Este tercer tramo incluye toda la carretera que conduce al municipio de Cepitá (aproximadamente 10 km), desde el desvío de la carretera principal. Los cuerpos metabásicos de esta zona fueron identificados en los drenajes que cortan la montaña, donde se profundiza en el cuerpo rocoso. Se destaca el último kilómetro de esta carretera antes de llegar al puente que cruza al río Chicamocha, franja donde se identificaron la mayoría de los cuerpos metabásicos de esta zona. Varían entre anfibolitas biotíticas y esquistos biotíticos-anfibólicos con morfología lenticular, encajados en esquistos muscovíticos con granate y estaurolita (miloníticos en algunos casos) y cuarcitas. Se ubica en la parte inferior de la zona del granate-estaurolita, de la unidad Esquistos del Chicamocha, cerca del contacto entre esta zona y la unidad Granito de Pescadero (Figura 2). También se observan diabasas, las cuales son descritas en el apartado 5.2 del presente trabajo.

**5.1.3.1 Anfibolitas biotíticas.** Estos cuerpos se distribuyen por toda la carretera que conduce al municipio de Cepitá, siendo mucho más comunes en el último kilómetro, en los drenajes que cortan el macizo rocoso (Figura 7). Se disponen de manera lenticular, alargados en la dirección de la foliación (150/28) de las rocas encajantes (cuarcitas y esquistos muscovíticos con granate y estauroлита) y se encuentran fuertemente aplanados.

La estructura predominante es la néisica, pero se observa localmente la masiva también. Está compuesta de anfíboles, plagioclasa, y biotita. Anfíboles (60%) se presentan como cristales de forma tabular de grano fino a muy fino (< 1 mm). Definen la foliación y están distribuidos uniformemente en toda la muestra. Forma bandas minerales con plagioclasa y biotita. Plagioclasa (20%) se encuentra formando bandas minerales con la biotita, con tamaño de grano menor al fino. Biotita (20%) presenta sus tonalidades oscuras comunes y de grano menor al fino. Define la foliación (Figura 8).

Además del aplanamiento que presentan, no se identificaron otras estructuras de deformación a nivel macroscópico. Sin embargo, su relación espacial con las cuarcitas, los esquistos muscovíticos y las venas de cuarzo, permite inferir que también fueron afectadas por eventos dinámicos de carácter dúctil.

Están ampliamente afectados por venas de cuarzo con espesores entre 1 cm y 30 cm. Tienen textura masiva (Dong, 1995) y son concordantes con la foliación regional. Se caracterizan por exhibir estructuras de deformación dúctiles entre las que se encuentran plegamientos, boudines simétricos y asimétricos, y venillas con contactos rectos con sus rocas encajantes (esquistos micáceo-anfibólicos y cuarcitas; Figura 9).

Figura 7.

*Cuerpos metabásicos del Tramo 3. A. Relación entre las metabasitas, las cuarcitas y las venas de cuarzo (Qtz) en quebradas. B, C y D. Cuerpos metabásicos paralelos y subparalelos a la*

*foliación regional. E. Lentes de anfibolita con estructura granofelsa en esquistos muscovíticos con granate.*

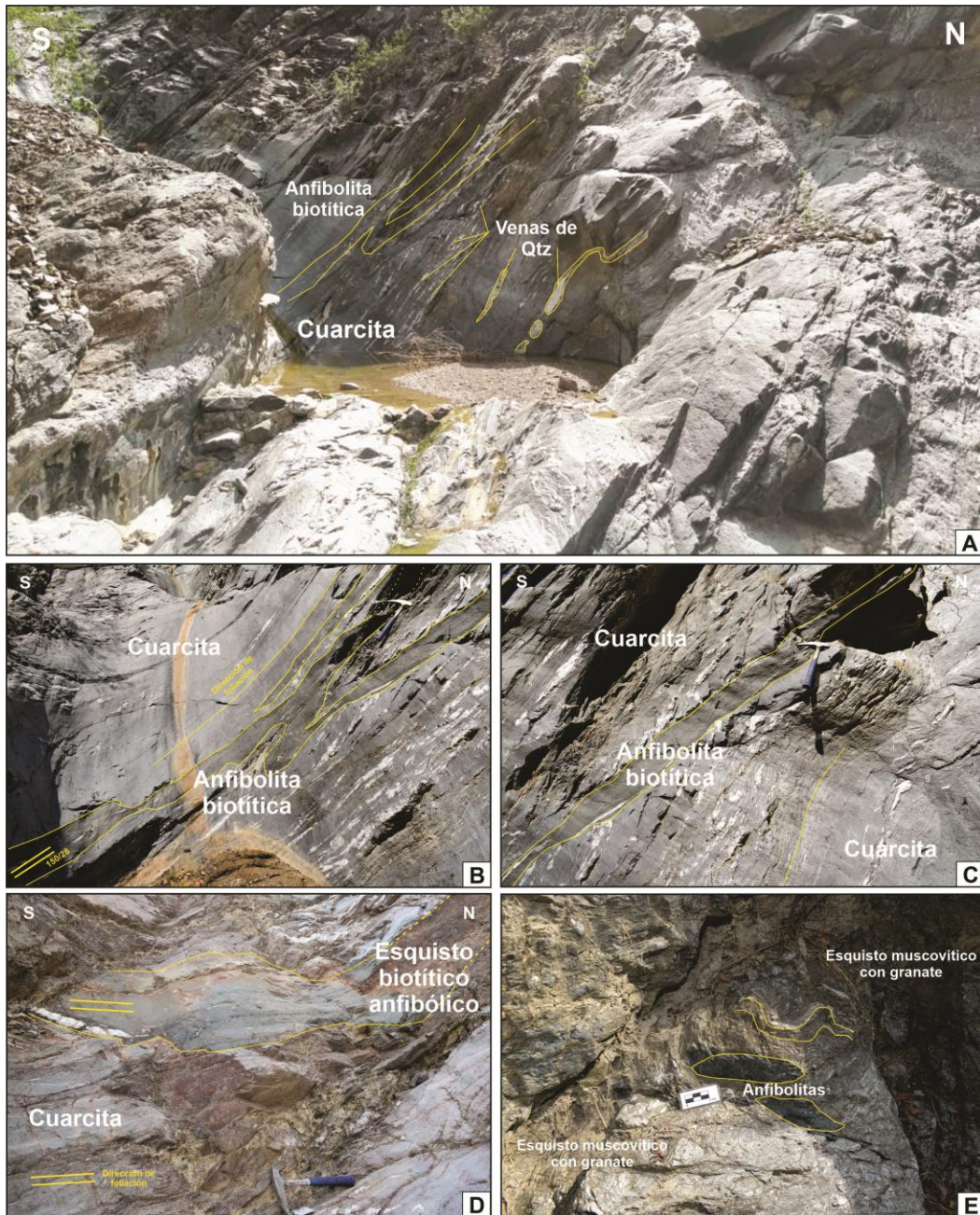


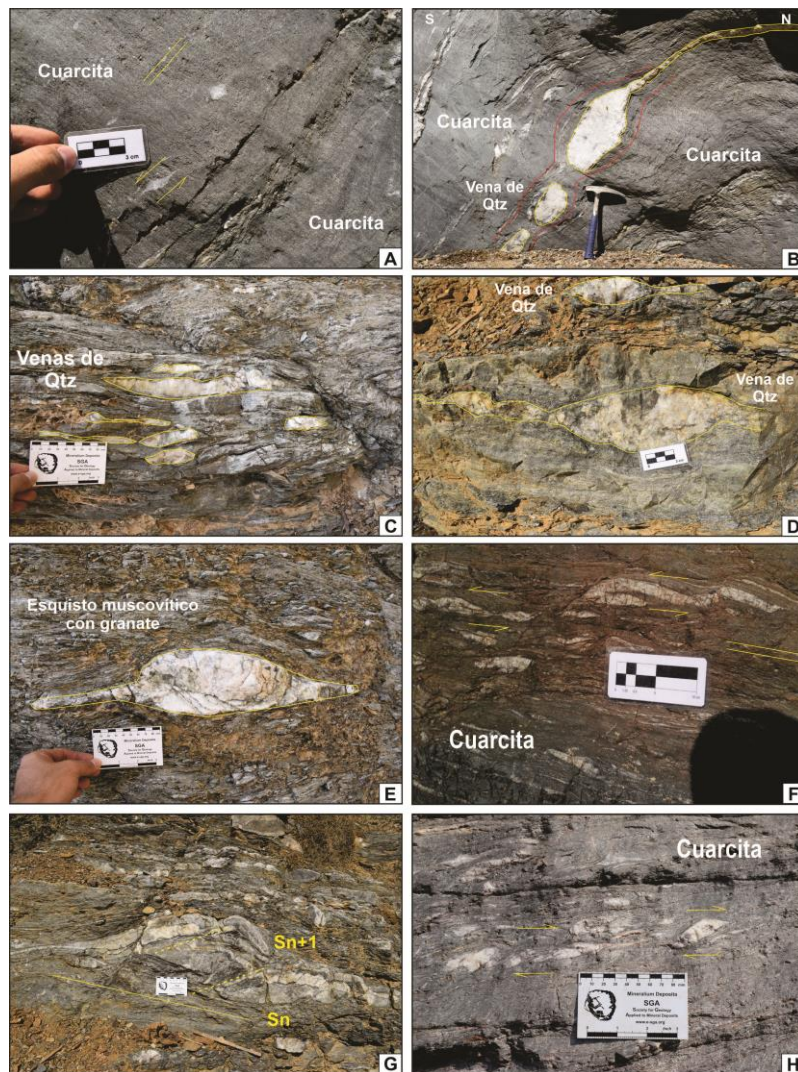
Figura 8.

*Estructura néisica de los cuerpos metabásicos del Tramo 3.*



Figura 9.

*Venas del Tramo 3. A, F, H. Boudines asimétricos de carácter dúctil. B, C, E. Boudines simétricos. D. Estructuras “pinch-and-swell”. G. Plegamientos en esquistos muscovíticos y venas de cuarzo.*

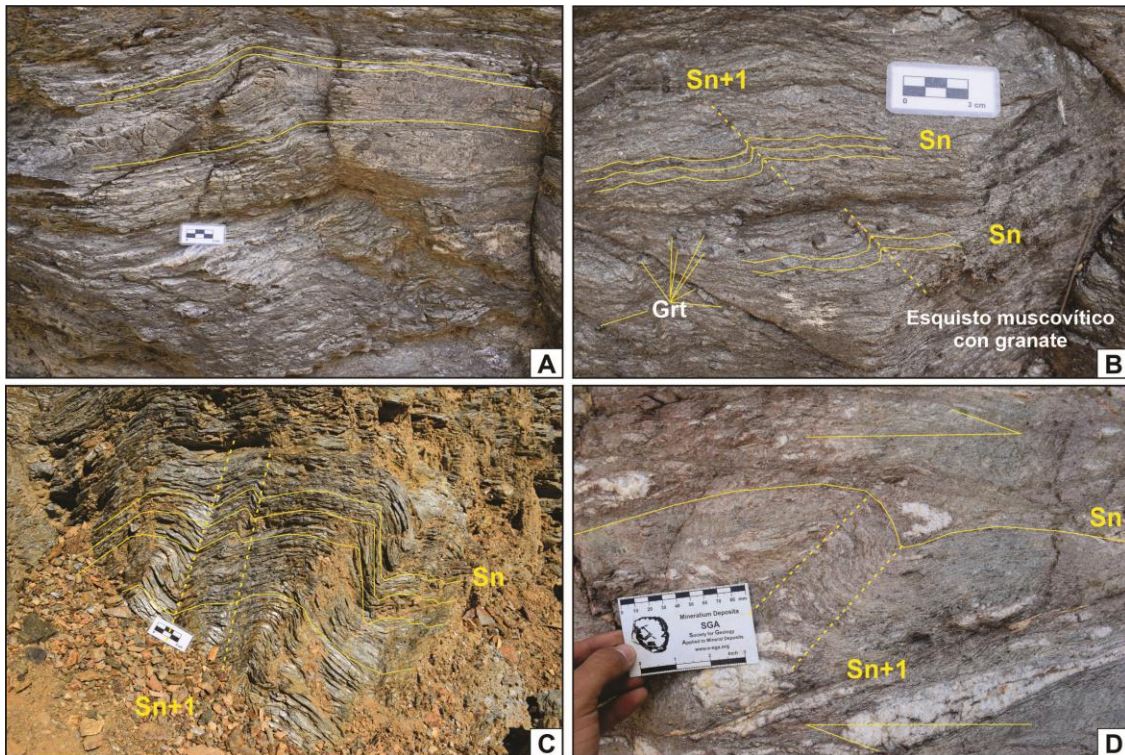


Las rocas encajantes de estas anfibolitas biotíticas (cuarcitas y esquistos muscovíticos con granate y estaurolita) presentan estructura milonítica, plegamientos y alargamiento de porfidoblastos.

**5.1.3.2 Esquistos biotíticos-anfibólicos.** Estos cuerpos se distribuyen por toda la carretera que conduce al municipio de Cepitá, siendo mucho más comunes en el último kilómetro, en los drenajes que cortan el macizo rocoso (Figura 2). Se disponen de manera lenticular, alargados en la dirección de la foliación de las rocas encajantes (cuarcitas y esquistos muscovíticos con granate y estaurolita) y se encuentran fuertemente aplanados. Corresponden a variaciones estructurales de las anfibolitas biotíticas.

Figura 10.

*Esquistos muscovíticos con granate (Grt).* A. Estructura milonítica. B, C y D. Plegamientos de los esquistos muscovíticos y formación de foliaciones  $S_{n+1}$ .



La estructura predominante es la esquistosa y está compuesta de anfíboles, plagioclasa, y biotita. Anfíboles (60%) se presentan como cristales de forma tabular de grano fino a muy fino (< 1 mm). Definen la foliación y están distribuidos uniformemente en toda la muestra. Forma bandas minerales con plagioclasa y biotita. Plagioclasa (20%) se encuentra formando bandas minerales con la biotita, con tamaños menores a 1 mm. Biotita (20%) presenta sus tonalidades oscuras comunes y con tamaños menores a 1 mm. Define la foliación.

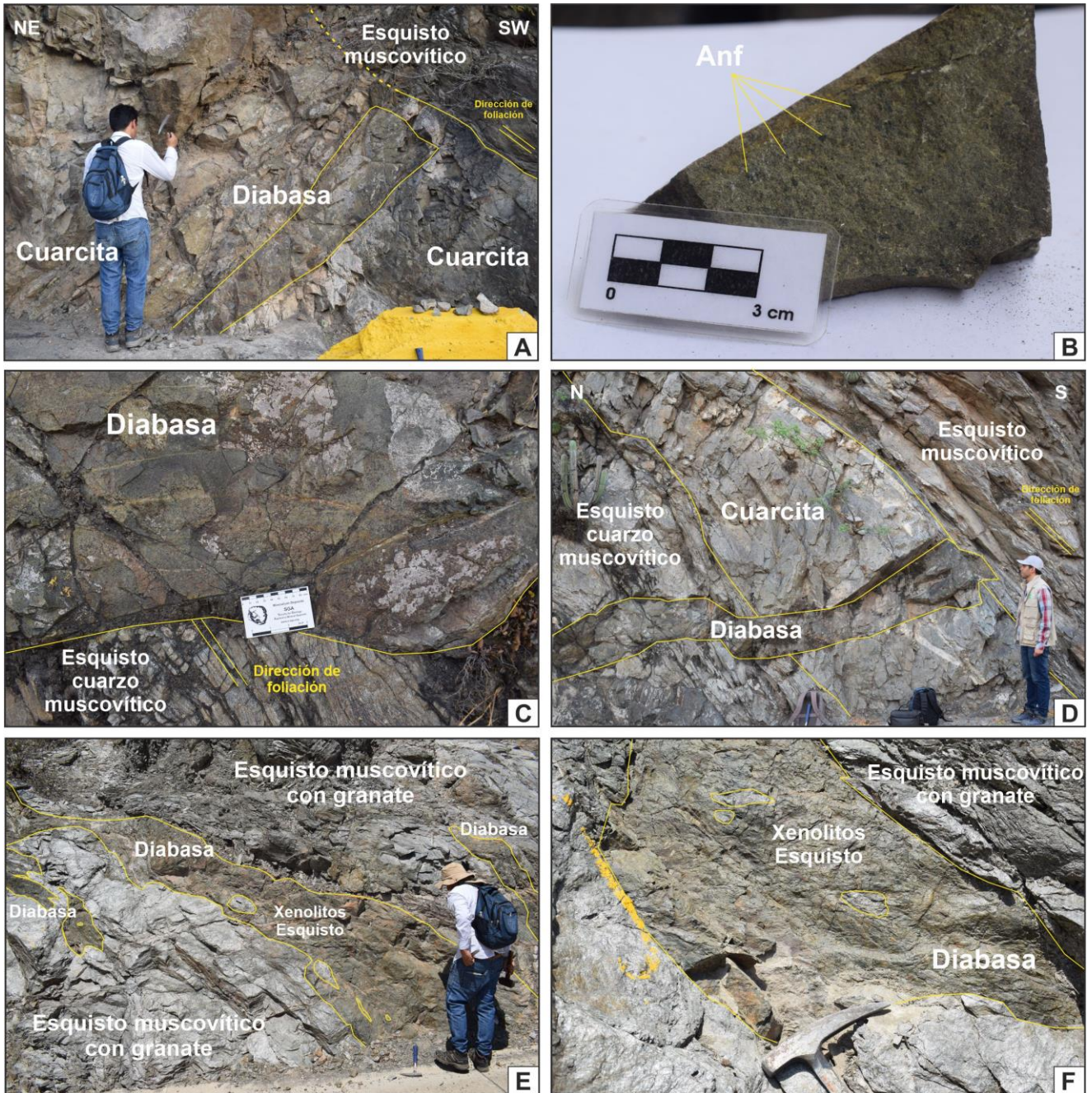
Su relación espacial con los esquistos muscovíticos con granate y estaurolita, las cuarcitas y las venas de cuarzo es similar a la de las anfibolitas biotíticas, por lo cual, se infiere que estas también tienen un evento deformativo de carácter dúctil sobrepuesto (Figura 9).

## **5.2. Diabasas**

Se disponen a manera de diques con espesores promedio de 50 cm, que cortan esquistos muscovíticos con granate y estaurolita (zona del granate-estaurolita; Figura 2), y cuarcitas de manera discordante a la foliación de dichas rocas (Figura 11). Afloran irregularmente en el área de estudio, presentan geometrías variadas, tienen coloraciones verdosas y se encuentran altamente oxidadas. Son hipocristalinas y su textura porfirítica está definida por fenocristales de anfíboles y piroxenos con tamaños entre 0.3 y 0.5 cm, y una matriz microcristalina. En algunas muestras es posible observar aparentes planos de foliación, generados el movimiento de fallas en el área, sin embargo, su textura y estructura no refleja fuertes eventos deformativos sobrepuestos.

Figura 11.

*Diques de diabasa. A, C, D, E, F. Diques de espesores no mayores a 1 m discordantes a la foliación regional. B. Textura porfírica de la roca.*



## 6. Metamorfismo

El área de trabajo fue afectada por un metamorfismo regional que dio origen a las variedades litológicas de la unidad Esquistos del Chicamocha (Mantilla *et al.* 2016), incluyendo a las rocas metabásicas. Adicionalmente, se registra también un metamorfismo dinámico de carácter dúctil.

### 6.1 Metamorfismo regional

El metamorfismo regional presente en esta franja está definido a partir de los minerales indicadores que aparecen en los esquistos muscovíticos conforme aumentan las condiciones de metamorfismo. Las zonas identificadas en la unidad Esquistos del Chicamocha varían (de menor a mayor grado de metamorfismo) y reportadas en múltiples trabajos (Ríos *et al.*, 2003; García y Ríos, 2004; Mantilla *et al.*, 2016a) son: (1) zona de la biotita (su asociación es  $Bt + Ms + Qtz + Pl \pm Grt \pm Ilm \pm Mag$ ); (2) zona del granate (su asociación es  $Grt + Bt \pm Ms \pm Chl + Pl \pm Kfs \pm Fe-Ti \text{ óxidos} + Grt + Hbl + Pl \pm Bt$ ), con temperaturas máximas entre 495 y 518°C y presiones entre 4,4 y 5,5 kbar; (3) zona de la estauroлита-cianita (su asociación es  $St + Ky + Bt \pm Grt + Ms + Pl + Qtz$ ) con temperaturas máximas entre 590 y 612°C y presiones entre 6,6 y 7,5 kbar y (4) zona de la sillimanita (su asociación  $Grt + Sil \pm St + Bt \pm Ms + Qtz + Pl$ ) con temperaturas máximas entre 660 y 700°C y presiones entre 5,5 y 7,2 kbar. Las condiciones de metamorfismo regional de las metabasitas se toman de la zona de metamorfismo en la que se encuentran de la siguiente manera: (1) el tramo A, al estar ubicada en la zona del granate-estauroлита, cerca de su límite con la zona del granate (Figura 2), se asumen condiciones entre 590° y 612°C de temperatura (o incluso menores por estar en el límite) y presiones entre 4,4 y 5,5 kbar; (2) el tramo B, al estar ubicada en la parte media-alta de la zona del granate, se asumen condiciones posiblemente menores a 495 y 518°C de temperatura y presiones entre 4,4 y 5,5 kbar, tendiendo hacia las temperaturas de estabilidad de la zona de la biotita; y (3) la C, al estar hacia la parte

baja de la zona del granate-estaurolita, podría presentar condiciones mayores a 495 y 612°C de temperatura y presiones entre 4,4 y 5,5 kbar, tendiendo hacia los 660 y 700°C y presiones entre 5,5 y 7,2 kbar de la zona de la sillimanita.

## 6.2 Metamorfismo dinámico

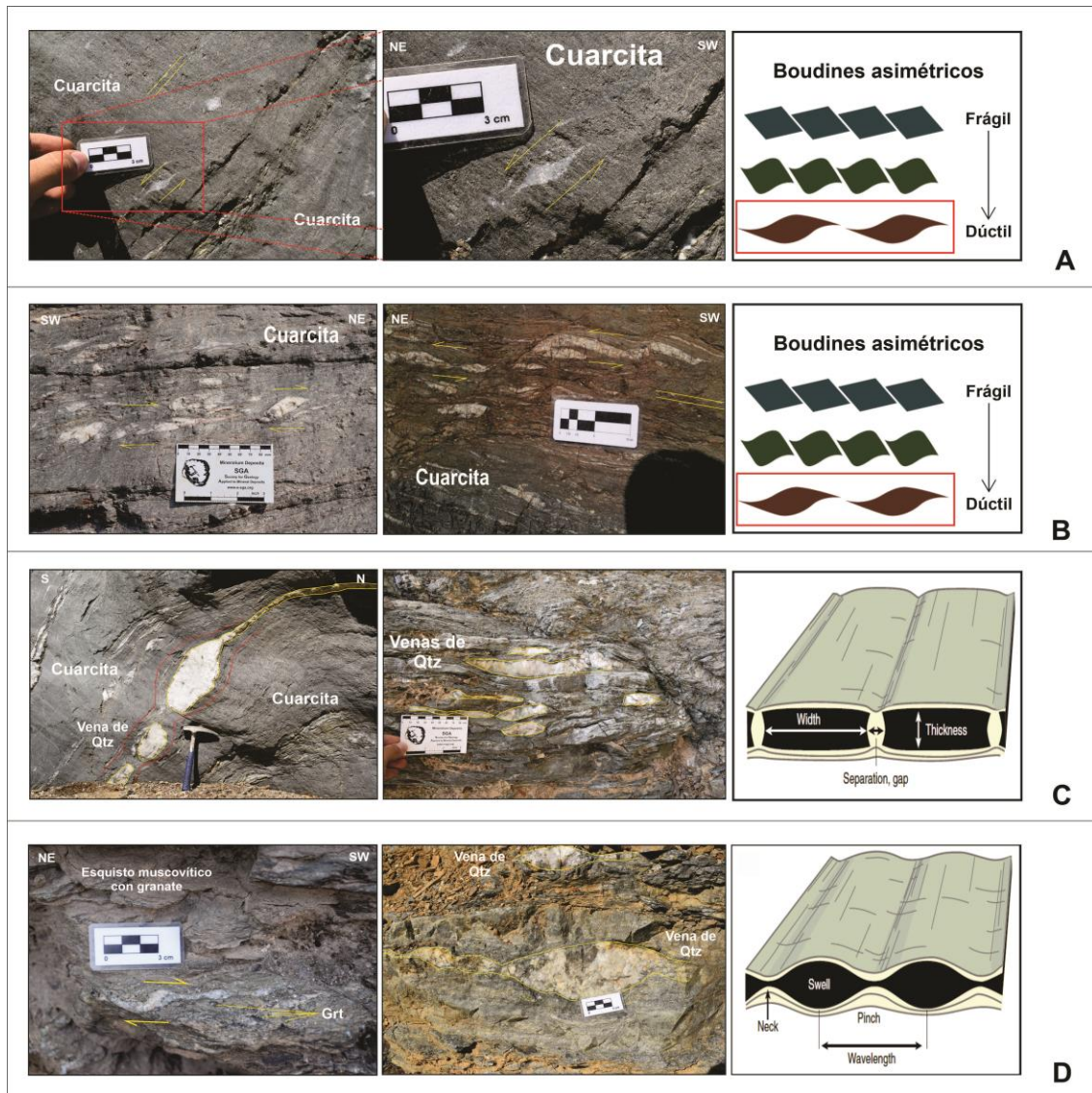
El metamorfismo dinámico (de carácter dúctil y extensional) de las metabasitas fue inferido basado en su relación espacial con las demás litologías, debido a que en ellas no fue posible observar con claridad las evidencias de deformación; dichas evidencias fueron observadas en los tramos A y C únicamente. Se asocia espacialmente con la zona del granate-estaurolita.

En el tramo A, se observan venillas de cuarzo y pegmatitas fuertemente aplanadas y rectas, boudines y estructuras “*pinch-and-swell*” simétricas y asimétricas en venillas de cuarzo y pegmatitas, y foliaciones muy marcadas en cuarcitas, las cuales son granofelsas en las zonas sin deformación (Figura 12). En las diabasas es posible observar una foliación muy débil.

En el tramo C, a pesar de que se observaron pegmatitas, en estas la deformación es muy débil y no están espacialmente asociadas con las metabasitas, por lo cual, la deformación fue descrita de las ampliamente presentes venas de cuarzo y de las rocas encajantes. Se observaron venas de cuarzo fuertemente aplanadas con boudines y estructuras pinch-and-swell simétricas y asimétricas, y plegamientos. Las anfibolitas biotíticas y los esquistos biotítico-anfibólicos se encuentran también fuertemente aplanados, tienen contactos rectos y las venillas que contienen se presentan también boudinadas. Las cuarcitas que encajan a las metabasitas son granofelsas, sin embargo, en cercanías a los boudines formados en las venas de cuarzo, estas desarrollan planos de foliación.

Figura 12.

Evidencias de deformación dúctil. A y B. Boudines asimétricos de carácter dúctil. C. Boudines simétricos. D. Estructuras “pinch-and-swell” simétricas y asimétricas. Modificado de Fossen (2010).



## 7. Discusión

Los estudios enfocados en las metabasitas y las rocas básicas en la franja Pescadero-Aratoca son escasos, sin embargo, entender su posición espacial, composición y eventos deformativos (y

su geoquímica a futuro) permite refinar los modelos propuestos para la formación de la Unidad Esquistos del Chicamocho.

Las metabasitas identificadas en cada uno de los tramos presentan diferencias texturales, morfológicas y composicionales notables. En la zona A se tienen esquistos micáceo-anfibólicos con granate a manera de lentes con morfología globular (Figura 3), ligeramente alargados en dirección a la foliación regional, con deformación de carácter dúctil sobreimpuesta; en la zona B se tienen anfibolitas dispuestas a manera de lentes con morfología globular (Figura 6), ligeramente alargados en dirección a la foliación regional, sin deformación; y en la zona C se tienen anfibolitas biotíticas y esquistos biotíticos-anfibólicos como lentes y cuerpos intermitentes paralelos y subparalelos a la foliación regional (Figura 7), intercalados con cuarcitas y esquistos muscovíticos. La foliación de todas las metabasitas es concordante con la foliación de las litologías encajantes, reflejando mismos eventos deformativos. La asociación espacial de los granates con biotitas en los esquistos micáceo-anfibólicos del tramo A (Figura 4) genera dudas respecto a la estabilidad de dichos granates en la roca, sin embargo, es posible que lo estén (Bucher y Grapes, 2011), por lo cual es necesario desarrollar estudios petrográficos microscópicos que permitan verificarlo. Las morfologías de las metabasitas y sus relaciones de campo permiten inferir que tienen como protolito rocas ígneas. Las variaciones mineralógicas (micas y granates en el tramo A, más plagioclasa y cuarzo en el tramo B y biotitas en el tramo C) son reflejo de la composición de los protolitos y las condiciones de metamorfismo que sufrieron. Se destaca la disposición de los anfíboles de la zona A, a manera de grandes porfidoblastos aglomerados (Figura 4).

La ocurrencia de las metabasitas aquí reportadas muestra que estas no se limitan a las zonas más profundas de la pila metamórfica (zona del granate-estaurolita e inferiores), sino también

alcanzando niveles a 500 m por encima de los anteriores (zona B), mostrando variaciones texturales y mineralógicas, las cuales son reflejo de las composiciones iniciales y las condiciones de metamorfismo.

Mantilla *et al.* (2003) proponen una banda de cizallamiento en las zonas del granate-estaurolita y estaurolita-cianita (parte baja de la secuencia metamórfica), asociada a su etapa de exhumación. Las evidencias mencionadas en dicho estudio fueron también observadas y comprobadas en el presente trabajo con las diferentes estructuras de las zonas A y C (con evidencias), y B (sin evidencias).

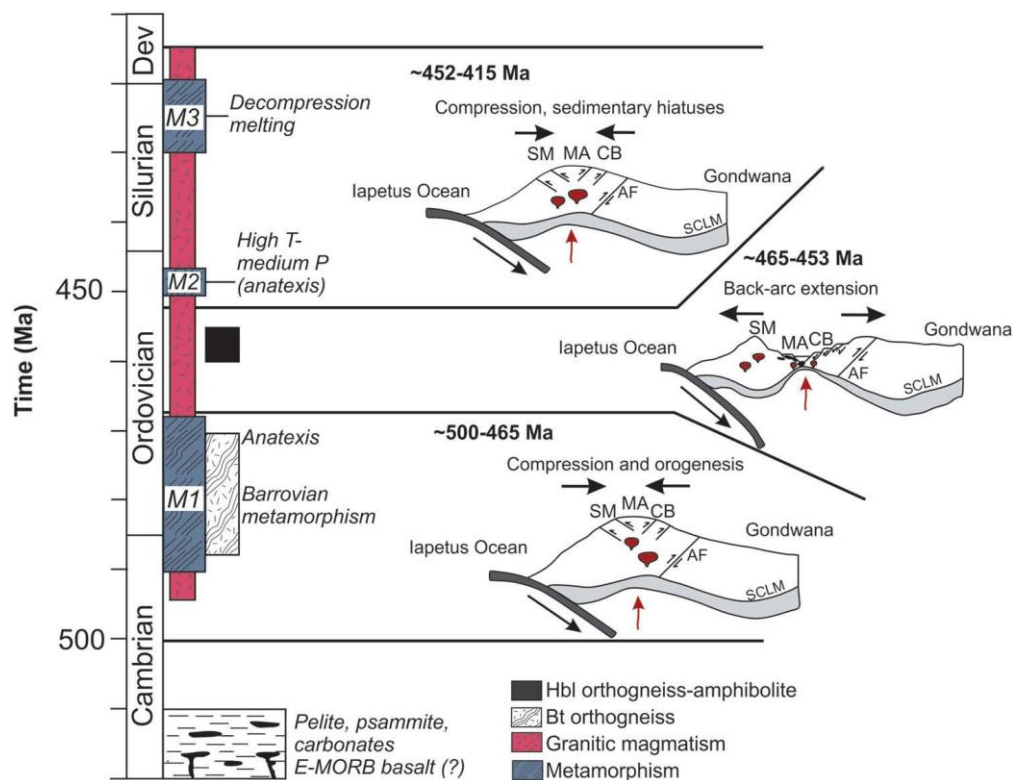
En los Andes de Mérida, Tazzo-Rangel *et al.* (2018) reportan rocas metamórficas similares a las litologías del Macizo de Santander: paraneises y esquistos pelíticos y psamíticos intruidos por magmas graníticos y granodioríticos (ahora ortoneises biotíticos con granate con edad de cristalización Ordovícica temprana), a su vez intruidos por magmas de composición intermedia y básica (ahora anfibolitas con edad de cristalización Ordovícica media). Las texturas y los datos geocronológicos U-Pb e isotópicos de Hf en zircones de dichas anfibolitas, presentados por los autores, indican que (1) los lentes de anfibolitas en paraneises reflejan un magmatismo basáltico (E-MORB) coetáneo a la depositación de los protolitos pelíticos y psamíticos de edad Cámbrica, y (2) un magmatismo basáltico que intruye a los ortoneises entre 460 y 450 Ma (Cretácico medio-superior).

El magmatismo bimodal de edad Ordovícica media presente en los macizos de los Andes del Norte indica eventos extensivos relacionados con el ambiente back-arc o, en otras palabras, periodos de compresión y extensión, traducidos en el avance y la migración del arco Famatiniano (Figura 13; van der Lelij *et al.*, 2015; Tazzo-Rangel *et al.*, 2018). Durante estos eventos extensivos se podrían haber depositado protolitos sedimentarios más jóvenes de unidades

metamórficas como las Filitas de San Pedro (Mantilla *et al.*, 2016). Sin embargo, no se han identificado metabasitas en esta unidad, por lo cual no es posible confirmar si existe una relación. Se hace necesario entonces verificar si los protolitos de estos cuerpos metabásicos alcanzaron menores profundidades en la secuencia metamórfica (por encima de la zona del granate).

Figura 13.

*Modelos evolutivos entre el Cámbrico y el Silúrico. Tomado de Tazzo-Rangel et al. (2018).*



Las diabasas, localizadas principalmente en la zona del granate-estauroлита, presentan evidencias de deformación muy leves, preservan su textura ígnea, y cortan de manera marcada y discordante la secuencia metamórfica. Son posteriores al metamorfismo (post-Ordovícico) y podrían estar relacionadas temporalmente a la exhumación del Macizo de Santander (Mantilla *et*

*al.*, 2002) o incluso posterior por la debilidad en su deformación, a pesar de estar ubicadas en un área altamente cizallada. De acuerdo a Amaya (2016) la franja Pescadero-Aratoca registró exhumaciones al menos desde el Oligoceno Tardío.

En otras áreas del Macizo de Santander han sido también identificados diques básicos: al oeste de Pamplona, Aguilar y Bustos (2019) realizaron un estudio petrográfico y geoquímico que les indica que estos cuerpos pertenecen a la serie toleítica en ambientes orogénicos compresivos; en el área de Mogotes, Mantilla y García (2018) reportan diques de diabasas, a los que se les infiere una edad Jurásica, a pesar de no haberse podido establecer una relación temporal clara; y se han reportado diques de composición básica cortando rocas de la Formación Jordán, hasta el contacto con la base de la Formación Los Santos, la cual suprayace de forma discordante, reflejando una edad pre-Cretácica (Alarcón y Rodríguez, 2019). Entre los municipios de Bogotá y Tunja se han datado cuerpos de composición básica, los cuales arrojaron edades Cretácicas (Vásquez *et al.*, 2010). Como es reflejado por estos estudios, la ubicación temporal de las diabasas sigue sin ser clara y estas podrían haberse formado en diferentes momentos.

## **8. Conclusiones**

Las rocas metabásicas de la franja Pescadero – Aratoca presentan diferencias litológicas, estructurales y texturales entre sí, relacionadas con las condiciones de metamorfismo y características de sus protolitos.

El Tramo A (el afloramiento más norte de la franja) se ubica en la Zona del Granate-Estauroлита y consta de esquistos micáceo-anfibólicos con granate, con morfologías globulares y con foliaciones concordantes a la foliación regional de la unidad Esquistos del Chicamocha. Presenta evidencias de deformación de carácter dúctil posteriores. El Tramo B (después del

Parque Nacional del Chicamocha) se ubica en la Zona del Granate y consta de anfibolitas con morfología globular y foliaciones concordantes a la foliación regional. El Tramo C (sobre la carretera al municipio de Cepitá) se ubica en la Zona del Granate-Estauroлита y consta de anfibolitas biotíticas y esquistos biotíticos-anfibólicos, a manera de lentes e intercalaciones, con foliaciones concordantes a la foliación regional, y con evidencias de deformación de carácter dúctil posteriores. El metamorfismo dinámico sobreimpuesto a las rocas metabásicas ubicadas en la zona del granate-estauroлита (Tramos A y B) es de carácter dúctil y podría estar asociado a la etapa de exhumación de esta franja, posiblemente posterior al Oligoceno tardío.

De igual forma, las diabasas identificadas en la parte baja de la secuencia metamórfica se habrían formado durante o después de la exhumación de la franja, es decir, en o después al Oligoceno tardío, ya que no presentan evidencias de deformación claras, sin descartar posibles edades más antiguas.

## **9. Recomendaciones**

Se recomienda en primer lugar realizar estudios petrográficos microscópicos y geoquímicos en las diabasas y metabasitas para detallar su mineralogía y confirmar la estabilidad de sus minerales, y establecer las condiciones de metamorfismo, conocer el ambiente de formación y las características del protolito de las metabasitas. También se recomienda desarrollar análisis geocronológicos en las rocas aquí estudiadas para confirmar sus edades y relacionarlas con los eventos deformativos presentes en esta franja (metamorfismo regional y dinámico).

### Referencias Bibliográficas

- Amaya, S. (2012). Caracterización petrográfica y petrológica de los neises, migmatitas y granulitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamento de Santander. Tesis M.Sc, Universidad Nacional de Colombia.
- Amaya, S. (2016). Termocronología y geocronología del basamento metamórfico del Macizo de Santander, Departamento de Santander. Tesis Ph.D, Universidad Nacional de Colombia.
- Aguilar, J. N. & Bustos, J. R. (2019). Petrografía y geoquímica de los diques básicos aflorantes al oeste de Pamplona, Norte de Santander. Trabajo de grado. Escuela de geología, Universidad Industrial de Santander.
- Alarcón, C. M. & Rodríguez, J. G. (2019). Estratigrafía, facies y paleoambiente de sedimentación de la Formación Jordán: un registro fluvio-lacustre con incidencia de actividad volcánica. Trabajo de grado. Escuela de geología, Universidad Industrial de Santander.
- Bucher, K. & Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of metamorphic Rocks* (8<sup>th</sup> ed.). Berlin, Alemania: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Castellanos, O. (1999). Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca (Santander). Trabajo de grado. Escuela de geología, Universidad Industrial de Santander.
- Castellanos, O. M., Ríos, C. A., & Takasu, A. (2008). A new approach on the tectonometamorphic mechanisms associated with P-T paths of the Barrovian type Silgará Formation at the central Santander Massif, Colombian Andes. *Boletín de Geología*, 12(2), 125–155.
- Cordani, U.G., Cardona, A., Jiménez, D.M., Dunyi, L. & Nutman, A.P. (2003). Geochronology of the Proterozoic basement inliers from the Colombian Andes: Tectonic History of remnants

- from a fragmented Grenville Belt. 10° Congreso Geológico Chileno, Universidad de Concepción, Chile.
- Dong, G., Morrison, G. & Jaireth, S. (1995). Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology*, 90(6), 1841-1856
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- García, C. A., & Ríos, C. A. (2004). Occurrence and significance of the polymorphs of Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> in metamorphic rocks of the Santander Massif, Eastern Cordillera (Colombian Andes). *Boletín de Geología*, 26(43), 23-38.
- García, C. A., Ríos, C. A., & Castellanos, O. M. (2005). Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*, 27(2).
- García, C. A., Rey, V., & Valencia, V. A. (2017). Ortoneises en la Franja Silos-Babega, Macizo de Santander, Colombia: evidencias de la Orogenia Famatiniana en los Andes del Norte. *Andean Geology*, 44(3), 307–327. <https://doi.org/10.5027/andgeoV44n3-a04>
- Mantilla, L. C., Mesa, A. G., García C. A., Bartels, H., Ordoñez, J. C., Cepeda, S. & Quintero, C. (2002). *Estudio sobre el origen de los filones de fluorita en los municipios Cepitá, Los Santos, Piedecuesta y su relación con la historia hidrotermal del flanco SW del Macizo de Santander*. Ediciones UIS.
- Mantilla, L.C., Ríos, C. A., Gélvez J.R., Márquez, R.E., Ordoñez, J.C., y Cepeda, E.S. (2003). Nuevas evidencias acerca de la presencia de una banda de cizallamiento en la Formación Silgará del sector Aratoca-Pescadero (Macizode Santander). *Boletín de Geología*, 25(40): 81-90.

- Mantilla, L. C., Valencia, V., Barra, F., Pinto, J. y Colegial, J. (2009). Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfíricos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Santander, Colombia). *Boletín de Geología*, 31 (1), 31-43.
- Mantilla, L. C., Bissig, T., Cottle, J. M., & Hart, C. J. R. (2012). Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). *Journal of South American Earth Sciences*, 38, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.03.001>
- Mantilla, L. C., García, C. A., & Valencia, V. A. (2016a). 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.
- Mantilla, L. C., García, C. A., & Valencia, V. A. (2016b). Propuesta de escisión de la denominada “Formación Silgará” (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38(1), 33–50.
- Mantilla L. C. & García, C. A. (2018). Geología y geocronología de las litologías aflorantes en el tramo Mogotes – San Joaquín. *Boletín de Geología*, 40(1), 123-145.
- Restrepo-Pace, P. A. (1995). Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, based on new geochronological, geochemical and isotopic data. Ph.D Thesis, The University of Arizona.
- Rey, V. (2015). Estudio de las rocas de la unidad Ortoneis en el Macizo de Santander: Consideraciones petrológicas y geoquímicas. Trabajo de grado. Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.

- Ríos, C. A., & García, C. A. (2001). 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. *Boletín de Geología*, 23(38), 51–59.
- Ríos, C. A., García, C. A., & 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, 133–154. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00025-7).
- Ríos, C. A., & Castellanos, O. M. (2014). First report and significance of the staurolite metabasites associated to a sequence of calc-silicate rocks from the Silgará Formation at the central Santander Massif, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), 418–429.
- Royero, J. M., & Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá.
- Siivola, J. & Schmid, R. (2007). List of mineral abbreviations. In IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks (Ed.). A systematic nomenclature on the systematics of metamorphic rocks. Web version.
- Tazzo-Rangel, M. D., Weber, B., González-guzmán, R., Valencia, V. A., Frei, D., Schaaf, P., & Solari, L. A. (2018). Multiple metamorphic events in the Palaeozoic Mérida Andes basement, Venezuela: insights from U–Pb geochronology and Hf–Nd isotope systematics. *International Geology Review*, 61(13), 1–37. <https://doi.org/10.1080/00206814.2018.1522520>
- Van der Lelij, R. (2013). Reconstructing north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. Thèse de doctorat, l'Université de Genève.

- Van der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M., & Mora, A. (2015). Paleozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*, 31, 271–294. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.01.011>.
- Vásquez, M., Altenberger, U., Romer, R. L., Sudo, M., & Moreno-Murillo, J. M. (2010). Magmatic evolution of the Andean Eastern Cordillera of Colombia during the Cretaceous: Influence of previous tectonic processes. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 171-186.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrangulos H-12 Bucaramanga y H-13, Pamplona, departamento de Santander. U.S. Geological Survey e INGEOMINAS. Boletín Geológico, 21(1–3).
- Zuluaga, C. A., Amaya, S., Ureña, C. & Bernet, M. Migmatization and low-pressure overprinting metamorphism as record of two pre Cretaceous tectonic episodes in the Santander Massif of the Andean basement in northern Colombia (NW South America). *Lithos*, 274, 123-146