

Petrografía del Neis de Bucaramanga, en el Sector de Pamplona – Chitagá, Macizo de Santander

Jennifer Dayana Estupiñan Gualdrón, María Teresa Ulloque Ardila

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogas

Director

Carlos Alberto García Ramírez

Geólogo PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

A Dios en primer lugar por siempre llenar mi vida de bendiciones y oportunidades para crecer como persona, todo se lo debo a él.

A mis padres, Flor María Gualdrón y Jairo Estupiñan por ser mi guía y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi hermano Jhon Jairo por darme la fuerza para ser su ejemplo a seguir como hermana mayor que soy.

A toda mi familia por su cariño, compañía y buenos deseos.

A Carlos Vargas, por ser esa persona especial con la que siempre puedo contar y alentarme a cumplir mis metas. Gracias por hacer parte de mi camino.

A mis amigos por todos los buenos momentos vividos, las experiencias y anécdotas por contar.

A mis maestros por su vocación de enseñar y por brindarme los conocimientos necesarios para enfrentar la vida profesional.

Jennifer Estupiñan

Dedicatoria

Llena de nostalgia y felicidad dedico todo mi esfuerzo a Dios, por darme una familia excepcional y la oportunidad de formarme como persona y profesional. A mis padres, por siempre entregarme lo mejor de ellos, por mostrarme el camino correcto y batallar a mi lado. Al resto de mi familia, por su amor y apoyo incondicional. A esa persona que hallé antes de culminar mis estudios, gracias por ser mi soporte, mi fuente de energía y hacerme mejor persona. A mis amigos de toda la vida, con los que crecí y con los que sigo atesorando momentos inolvidables. A mis compañeros y futuros colegas, a esas cinco mujeres especiales que tuve el privilegio de conocer a lo largo de mi carrera, gracias por permitirme ser parte de sus vidas. Finalmente, agradezco a mis maestros, por su dedicación y tiempo, por prepararme y aportarme sus conocimientos de calidad.

María Teresa Ulloque

Agradecimientos

A nuestro director de proyecto de grado, Carlos Alberto García Ramírez, por su compañía y apoyo en el desarrollo de todas las etapas del proyecto.

Al laboratorio de preparación de muestras de la Universidad Industrial de Santander y a Luis Fernando Anaya por la elaboración de las secciones delgadas.

Al Laboratorio del Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA) de la Universidad Industrial de Santander en el Parque Tecnológico Guatiguará.

Al Laboratorio de Microscopia de la Universidad Industrial de Santander en el Parque Tecnológico Guatiguará y a Carlos Alberto Chacón por su colaboración en la adquisición de datos del SEM.

Al Consejo de Facultad de Ingenierías Físicoquímicas por su apoyo con la auxiliatura de investigación (Modalidad B) para este proyecto.

A nuestros profesores de la Escuela de Geología, compañeros y amigos presentes a lo largo del proceso de formación profesional.

Tabla de Contenido

Introducción	18
1. Marco geológico regional	19
2. Antecedentes	22
3. Metodología	24
3.1 Primera etapa: Pre-campo.	24
3.2 Segunda etapa: Trabajo de campo.	25
3.3 Tercera etapa: Laboratorio.	25
3.4 Cuarta etapa: Trabajo de oficina y elaboración del informe final.	26
4. Petrografía.....	27
4.1 Bloque al este de la Falla Chitagá.....	27
4.1.1 Neis biotítico-sillimanítico (JM-1-1).	27
4.1.2 Neis biotítico-sillimanítico (JM-3-1).	32
4.1.3 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-4-1).....	35
4.1.4 Neis biotítico (JM-13-1).	36
4.1.5 Neis cuarzofeldespático con cordierita (JM-14-1).....	38
4.1.6 Neis hornbléndico (JM-15-1).....	40
4.2 Bloque al oeste de la Falla Chitagá.	41

PETROGRAFÍA DEL NEIS DE BUCARAMANGA	10
4.2.1 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-5-1).....	41
4.2.2 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-6-1).....	42
4.2.3 Anfibolita (JM-8-1).....	45
4.2.4 Granulita (JM-8-2).....	47
4.2.5 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-11-1).....	50
5. Metamorfismo.....	53
5.1 Bloque al este de la Falla Chitagá.....	53
5.1.1 Metamorfismo regional.....	53
5.1.2 Metamorfismo dinámico.....	53
5.2 Bloque al oeste de la Falla Chitagá.....	54
5.2.1 Metamorfismo regional.....	54
5.2.2 Metamorfismo dinámico.....	54
6. Discusión de resultados.....	56
7. Conclusiones.....	59
8. Recomendaciones.....	60
Referencias bibliográficas.....	61

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Modificado de Mantilla et al. (2016) y Van der Lelij et al. (2016).....	19
Figura 2. Mapa geológico y localización de muestras. Modificado de Ward et al. (1973).	28
Figura 3. A) Afloramiento de neis biotítico-sillimanítico (JM-1-1) por la vía Pamplona-Chitagá, 6 Km adelante de La Lejía. B) Muestra de mano JM-1-1.	29
Figura 4. Microfotografías del neis biotítico-sillimanítico (JM-1-1). A) Estructura cataclástica y moscovita presentando pliegues tipo <i>kink</i> . B) Cordierita biotitizada, presenta maclas mecánicas y deformación evidenciada en pliegues tipo <i>kink</i> . C) Porfidoblasto de ortopiroxeno con numerosas inclusiones de opacos. D) Los opacos incluidos en sillimanita1 ocurren orientados siguiendo los planos de ésta. E) Sillimanita2 está reemplazando biotita. F) Andalucita siendo reemplazada por sillimanita2. (A-B-C-D-E-F) Nicoles cruzados.	30
Figura 5. Morfología y espectro de dispersión de los minerales analizados al SEM en la muestra JM-1-1. A) Andalucita. B) Cordierita. C) Ilmenita.	32
Figura 6. A) Afloramiento de neis biotítico-sillimanítico (JM-3-1) ubicado por la vía Pamplona-Chitagá, 7.5 Km adelante de La Lejía. B) Muestra de mano JM-3-1. C) Afloramiento de neis cuarzofeldespático con biotita (JM-4-1) en contacto con granito que presenta deformación sintectónica, a 8 Km delante de La Lejía. D) Muestra de mano JM-4-1.	33
Figura 7. Microfotografías del neis biotítico-sillimanítico (JM-3-1). A). Cordierita alterando a pinnita. B) Textura principal lepidogranoblástica y foliación espaciada, donde los dominios de clivajes tienen forma grosera y transición gradacional con los microlitones. C) Sillimanita2 reemplazando biotita. D) Textura pertítica. E) Textura porfidoblástica y poiquiloblástica en mineral de biotita en matriz lepidogranoblástica. F) Textura mirmequítica. (A-B-C-D-E-F) Nicoles cruzados.	34
Figura 8. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con biotita (JM-4-1). A) Foliación continua definida por la orientación de la biotita, al igual se observa la textura principal lepidogranoblástica. B) Textura local de tipo mirmequítica. (A-B) Nicoles cruzados.	36

Figura 9. A) Afloramiento de neis biotítico (JM-13-1) ubicado en la vereda Taporcúa, al margen derecho del Río Chitagá, al igual que B. B) Afloramiento de neis hornbléndico (JM-15-1). C) Muestra de mano JM-13-1. D) Muestra de mano JM-14-1. E) Muestra de mano JM-15-1..... 37

Figura 10. Microfotografías del neis biotítico (JM-13-1). A) Foliación continua definida por la orientación de la biotita, textura granolepidoblástica y se distingue una vena de clorita con un ancho de 0.06 mm. B) Textura poiquiloblástica en cristal de plagioclasa. (A-B) Nícoles cruzados. 38

Figura 11. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con cordierita (JM-14-1). A) Foliación continua definida por la orientación de sillimanita; B) Textura lepidogranoblástica, en el centro de la imagen se observa sillimanita¹ reemplazando biotita. C) Cordierita alterando a pinnita. D) Textura poiquiloblástica y porfidoblástica en ortoclasa. (A-B-C-D) Nícoles cruzados. 39

Figura 12. Microfotografías del neis hornbléndico (JM-15-1). A) Foliación continua definida por la orientación preferencial de hornblenda y biotita, también se aprecia la textura principal nematogranoblástica. B) Textura local de tipo poiquiloblástica. (A-B) Nícoles cruzados..... 40

Figura 13. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con biotita (JM-5-1). A) Foliación continua definida por la biotita y textura lepidogranoblástica. B) Textura porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica y poiquiloblástica en cuarzo. (A-B) Nícoles cruzados. 42

Figura 14. A) Afloramiento de neis cuarzofeldespático con biotita (JM-6-1) en la vía Pamplona-Cácota, margen derecho 100 m adelante del desvío a Cécota. B) Acercamiento al afloramiento donde se evidencia un plegamiento en la foliación. C) Muestra de mano JM-6-1..... 43

Figura 15. Microfotografías del neis cuarzo-feldespático con biotita (JM-6-1). A) Sillimanita generada en las masas sericíticas por reacciones entre cuarzo y moscovita. B) Sillimanita reemplazando biotita². C) Textura lepidogranoblástica. D) Textura mirmequítica. (A-B-C-D) Nícoles cruzados. 44

Figura 16. Morfología y espectro de dispersión de la hematita identificada mediante el SEM a la muestra JM-6-1. 45

Figura 17. A) Afloramiento de anfibolita (JM-8-1) y granulita (JM-8-2) con intrusiones de pegmatitas y granitoides en la vía Pamplona-Cécota, margen derecho 700 m adelante del desvío a

Cácota. B) Acercamiento donde se observa anfibolitas en contacto con pegmatitas. C) Muestra de mano JM-8-1. D) Acercamiento al bandeamiento de granulitas. E) Muestra de mano JM-8-2. ... 46

Figura 18. Microfotografías de la anfibolita (JM-8-1). A) Foliación continua definida por la orientación de hornblenda. B) Textura principal granonematoblástica. (A-B) Nicoles cruzados. 46

Figura 19. Microfotografías de la granulita (JM-8-2). A) Bandeado definido por variación en el tamaño de grano y porcentaje de minerales. B). Textura nematogranoblástica. C) Epidota zonada. D) Wollastonita recristalizada. E) Textura poiquiloblástica en calcita recristalizada. F) Venas de calcita cortando los demás minerales. (A-B-C-D-E-F) Nicoles cruzados. 48

Figura 20. Morfología y espectro de dispersión de minerales analizados al SEM en la muestra JM-8-2. A) Calcita. B) Wollastonita. C) Epidota. D) Augita. 50

Figura 21. A) Afloramiento de neis cuarzofeldespático con biotita (JM-11-1), ubicado 50 m arriba de la Laguna de Cécota. B) Detalle del afloramiento donde se observa la foliación. C) Muestra de mano JM-11-1. 51

Figura 22. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con biotita (JM-11-1). A) Foliación desarrollada por la orientación de masas de sericita, biotita y cuarzo; textura granolepidoblástica y milonítica. B) Venas hidrotermales de cuarzo y turmalina. C) Porfídoblastos postectónicos de turmalina en matriz granolepidoblástica. D) Clorita porfidoblástica postectónica en matriz granolepidoblástica. E) Porfídoblastos pseudomorfs rodeados por la foliación principal y con recristalización de moscovita. F) Textura poiquiloblástica. (A-B-C-D-E-F) Nicoles cruzados. ... 52

Figura 23. Diagrama de facies metamórficas y campos de estabilidad de los polimorfos de aluminio con la ubicación de las condiciones de metamorfismo para cada bloque. Basado en Spear (1993), Spear et al. (1999) y Smulikowsky et al. (2003). 55

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de edades para eventos reportados en el Neis de Bucaramanga.	23
Tabla 2. Abreviaturas minerales utilizadas (según la SCMR, 2007).....	26
Tabla 3. Composición mineralógica de los neises en el bloque al este de la Falla Chitagá	27
Tabla 4. Composición mineralógica de las rocas del bloque al oeste de la Falla Chitagá.....	41

Lista de Apéndices

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la
Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Petrografía detallada de la franja oriental del Neis de Bucaramanga.

Apéndice B. Catálogo de muestras.

Apéndice C. Reporte de análisis de minerales al SEM.

RESUMEN

TITULO: PETROGRAFÍA DEL NEIS DE BUCARAMANGA, EN EL SECTOR DE PAMPLONA – CHITAGÁ, MACIZO DE SANTANDER*

AUTORES: Jennifer Dayana Estupiñan Gualdrón, María Teresa Ulloque Ardila.**

PALABRAS CLAVE: Neis de Bucaramanga, Macizo de Santander, Bloques al este y oeste de la Falla Chitagá.

DESCRIPCIÓN:

El Neis de Bucaramanga (NB) es la unidad más antigua del basamento cristalino del Macizo de Santander. Rocas del NB afloran en los sectores suroeste, central y oriental del macizo. En este trabajo se presentan los resultados de estudios de campo y petrográficos adelantados en rocas del NB en el sector oriental del macizo (el menos estudiado), entre las poblaciones de Pamplona y Chitagá.

En esta zona las rocas del NB afloran en dos bloques al este y oeste de la Falla de Chitagá. El bloque al este de la Falla de Chitagá litológicamente consta de neises biotítico-sillimaníticos, neises biotíticos, neises hornbléndicos y neises cuarzo-feldespáticos con biotita y cordierita. La asociación paragenética en estos neises corresponde a: $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Crd} + \text{Bt} + \text{Kfs} + \text{Pl} + \text{Sil} + \text{And}$, indicando condiciones en la parte baja de facies granulita con una temperatura de $\sim 760^{\circ}\text{C}$ y presión de $\sim 1.6\text{Kbar}$. Las rocas del bloque al oeste de la Falla de Chitagá corresponden a neises cuarzo-feldespáticos con biotita, anfibolitas y granulitas con asociación: $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz}$, indicando condiciones en facies granulita con un rango de temperatura de 810 a 860°C y presión de 5 a 5.5Kbar . Este bloque registra mayores condiciones de metamorfismo que el bloque este.

Los estudios realizados evidencian un incremento en el grado de metamorfismo en sentido oeste – este de las rocas del Neis de Bucaramanga en el Macizo de Santander.

*Trabajo de grado

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

ABSTRACT

TITLE: PETROGRAPHY OF THE BUCARAMANGA GNEISS, IN PAMPLONA – CHITAGÁ SECTOR, SANTANDER MASSIF*.

AUTHORS: Jennifer Dayana Estupiñan Gualdrón, María Teresa Ulloque Ardila.**

KEYWORDS: Bucaramanga Gneiss, Santander Massif, East and west block of Chitagá Fault.

DESCRIPTION:

Bucaramanga Gneiss (BG) is the oldest rock unit of Santander Massif's crystalline basement. Rocks of BG outcrop in southwest, central and east sectors of the massif. This document shows the results of fieldwork and petrographic studies accomplished in BG's rocks in the eastern sector of the massif (which is the least studied), located between Pamplona and Chitagá towns.

In this area the BG's rocks outcrop in two blocks, one of them to the east and the other to the west of the Chitagá fault. Lithologically, the east block of Chitagá Fault consists of biotite-sillimanite gneisses, biotite gneisses, hornblende gneisses, biotite-bearing quartz-feldspar gneisses and cordierite-bearing quartz-feldspar gneisses. The mineral assemblage of these gneisses is: Opx + Cpx + Crd + Bt + Kfs + Pl + Sil + And, indicating lower granulite facies conditions with temperature of ~ 760°C and pressure of ~ 1.6Kbar. The west block's rocks of Chitagá Fault are biotite-bearing quartz-feldspar gneisses, amphibolites and granulites with paragenesis: Cpx + Opx + Pl + Kfs + Qtz, suggesting granulite facies conditions with temperatures between 810 and 860°C and pressures of 5 to 5.5 Kbar. This block has higher metamorphism conditions than the east block.

The studies realized shows an increase in the metamorphism grade in west - east direction of the rocks of the BG in the Santander Massif.

*Degree work

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

Introducción

Este trabajo de grado tiene como objeto estudiar las rocas pertenecientes a la unidad Neis de Bucaramanga en la faja oriental en el sector Pamplona-Chitagá (Figura 1).

Los estudios realizados comprendieron el trabajo de campo para la recolección de muestras y toma de datos geológicos, análisis petrográficos para establecer la mineralogía de los diferentes litotipos y las condiciones Presión-Temperatura (P-T) de metamorfismo mediante asociaciones paragenéticas, así como el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM) para determinar de forma semicuantitativa la composición química de algunos minerales claves.

Las rocas del Neis de Bucaramanga – NB fueron estudiadas en dos bloques, localizados al este y oeste de la Falla Chitagá. El bloque este presenta neises biotítico-sillimaníticos, hornbléndicos, biotíticos y cuarzo-feldespáticos con una asociación paragenética de Opx + Cpx + Crd + Bt + Kfs + Pl + Sil + And (abreviaturas minerales según la Subcomisión sobre Sistemática de Rocas Metamórficas, siglas en inglés SCMR) indicando condiciones en la parte baja de facies granulita, mientras que el bloque oeste se compone de neises cuarzofeldespáticos, anfíbolitas y granulitas en condiciones de facies granulita considerando la asociación de Cpx + Opx + Pl + Kfs + Qtz (abreviaturas minerales según la SCMR).

1. Marco geológico regional

El área de estudio se localiza en el Macizo de Santander. Este es un bloque levantado el cual está limitado al oeste por la Falla Bucaramanga - Santa Marta y al este por el sistema de fallas Pamplona - Cubogón - Mercedes (García *et al.*, 2005).

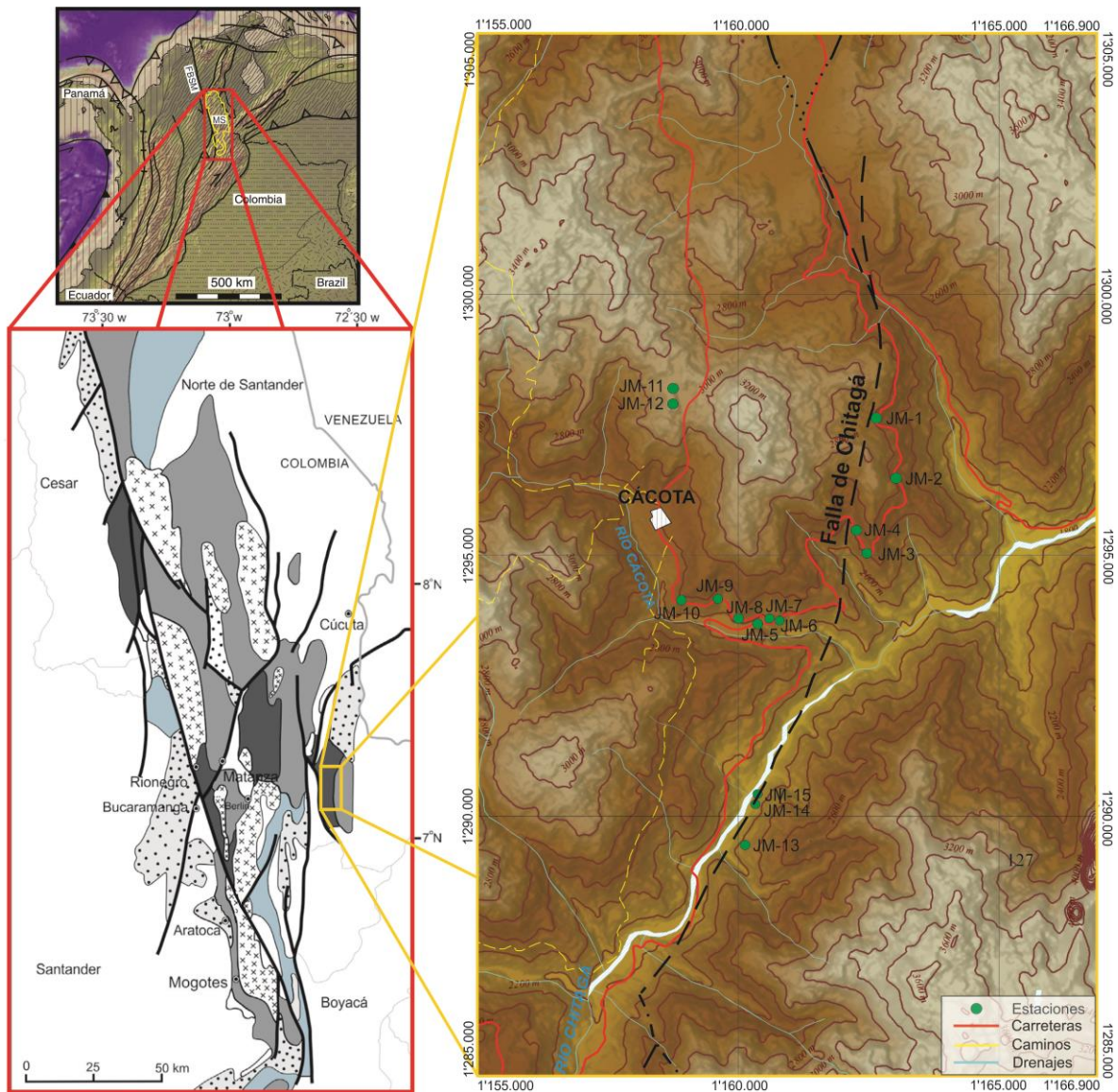


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Modificado de Mantilla *et al.* (2016) y Van der Lelij *et al.* (2016).

El basamento del macizo está constituido por rocas metamórficas de origen tanto sedimentario como ígneo, que están siendo cortadas por rocas ígneas del Paleozoico, Triásico al Cretácico y Mioceno (Goldsmith, 1971; Mantilla *et al.*, 2013). Las unidades de dicho basamento se agrupan en el Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará, Ortoneis y Metasedimentitas de bajo grado.

El Neis de Bucaramanga de edad Precámbrica fue mencionado por primera vez por Goldsmith (1971) y formalmente propuesto por Ward *et al.* (1973). Posteriormente, Royero y Clavijo (2001) proponen el término Complejo Bucaramanga e indican litologías de neises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, granatíferos y micáceos, así como anfibolitas, cuarcitas, migmatitas, mármoles y algunas granulitas. El contacto con los suprayacentes Esquistos del Silgará no se ha determinado con certeza (Ward *et al.*, 1973), pero según estos autores rocas del NB estarían suprayacidas por los Esquistos del Silgará.

La Formación Silgará propuesta por Ward *et al.* (1973) se compone de filitas, esquistos, cuarcitas, metareniscas y algunas pizarras y filitas calcáreas (Royero y Clavijo, 2001) de edad tentativa del Cámbrico-Ordovícico con base en relaciones estratigráficas (Ward *et al.*, 1973). En trabajos posteriores de Clavijo (1994) y Mantilla *et al.* (2009) fue nombrada como Unidad Esquistos del Silgará, mientras que en la más reciente propuesta de Mantilla *et al.* (2016) se plantea la división de la unidad en Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro, debido a diferencias mostradas entre la Franja Matanza-Cachirí y la Franja Piedecuesta-Aratoca.

El Ortoneis fue definido por Ward *et al.* (1973) y renombrado como Ortoneis de Berlín por Royero y Clavijo (2001) al localizarse la sección tipo en cercanías a Berlín. Litológicamente, son neises cuarzofeldespáticos y biotíticos con foliación generalmente concordante con el Neis de Bucaramanga y Esquistos del Silgará (García *et al.*, 2005). Las edades reportadas en rocas del

Ortoneis, así como la relación de campo indican un emplazamiento sintectónico durante el Ordovícico Temprano (Mantilla *et al.*, 2012; Van der Lelij *et al.*, 2015; García *et al.*, 2017).

Las Metasedimentitas de bajo grado están constituidas por filitas, metareniscas, metalimolitas, metaconglomerados y cuarcitas del Ordovícico-Silúrico con metamorfismo de bajo grado (parte inferior de facies Esquistos Verdes) (Royero y Clavijo, 2001). Son conocidas como las Metasedimentitas de Guaca-La Virgen. Por otro lado, para el tramo Mogotes-San Joaquín donde ha sido cartografiada la Formación Floresta, Mantilla y García (2018) dividen la unidad en tres miembros: uno basal del Devónico Temprano con foliación metamórfica por un evento dinamo-térmico, y uno medio y superior del Devónico Medio-Tardío sin evidencias de metamorfismo.

En este sentido, el basamento del macizo está cubierto de forma discordante por la Formación Floresta del Devónico, que también está siendo cubierta discordantemente por sedimentos clásticos a calcáreos del Carbonífero-Pérmico. Así mismo, sedimentos Triásicos de la Formación Tiburón cubren la anterior sucesión, luego sedimentos post-Paleozoicos de la Formación Bocas y Jordán., y por último capas discordantes de la Formación Girón del Jurásico (García *et al.*, 2005).

Diversas litologías ígneas intruyen el basamento del macizo, como son rocas graníticas calco-alcalinas del Silúrico (Mantilla *et al.*, 2012); batolitos, stocks y plutones producto del magmatismo calco-alcalino del Triásico-Jurásico, denominado como Grupo Plutónico de Santander (Ward *et al.*, 1973); diques de diabasa y riolíticos de textura porfirítica del Cretácico temprano (Goldsmith *et al.*, 1971), y rocas porfiríticas del Mioceno afectadas por procesos de alteración hidrotermal y mineralización (Mantilla *et al.*, 2013). De forma coetánea a estos últimos eventos, se depositaron rocas del Cretácico preservadas como relictos erosionales (García *et al.*, 2005) y las del Terciario.

2. Antecedentes

El término Neis de Bucaramanga fue el nombre utilizado inicialmente por Goldsmith *et al.* (1971) y propuesto formalmente por Ward *et al.* (1973) para hacer referencia a metasedimentitas de alto grado metamórfico regional, con litologías de paraneis pelítico, semi-pelítico, y arenáceo, así como esquistos y menores cantidades de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico, anfibolita y algunas zonas de migmatita. Afloramientos de estas rocas se encuentran en la faja Bucaramanga al este de la Falla Bucaramanga, la faja central en el área Berlín-California-Cachirí, y la faja oriental localizada cerca de Chitagá y al sur de Pamplona. Esta última se compone principalmente de neises con cordierita, sillimanita, biotita, cuarzo y feldespatos, inyectados por pegmatita moscovítica probablemente del Granito de Durania y por granito gris claro semejante al de la Cuarzomonzonita de La Corcova; en menor proporción consta de anfibolitas y mármol. Por otro lado, Royero y Clavijo (2001) proponen llamar la unidad Complejo Bucaramanga y mencionan paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos, anfibolitas, cuarcitas, migmatitas, mármoles y algunas granulitas.

Estudios petrográficos adelantados en el NB han permitido establecer litotipos como neises biotíticos, hornbléndicos, biotítico-hornbléndicos, cuarzo-feldespáticos y anfibolitas y cuarcitas, así como migmatitas y mármoles (García *et al.*, 2005; Urueña y Zuluaga, 2011; Amaya, 2012, Zuluaga *et al.*, 2017).

Las edades conocidas en el NB y obtenidas por diferentes autores no permiten unánimemente establecer la edad del metamorfismo. En la tabla 1 se presenta el compendio de edades para el NB.

Tabla 1.

Resumen de edades para eventos reportados en el Neis de Bucaramanga.

Litología	Método	Edad	Autor
Neis biotítico	Rb-Sr en roca total	680±140 Ma	Goldsmith <i>et al.</i> (1971)
Neis hornbléndico	K-Ar en hornblenda	945±40 Ma	Goldsmith <i>et al.</i> (1971)
Neis hornbléndico	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar.	668±9 y 574±8 Ma (Rejuvenecimiento de rocas Grenvillianas por efectos termales tardíos)	Restrepo-Pace (1995)
Neis biotítico	U-Pb en circones.	>1430 Ma (Fuentes del protolito sedimentario). 1200-900 Ma (Evento metamórfico Grenvilliano) 864 ± 66 Ma (Evento hidrotermal o metamórfico tardío).	Cordani <i>et al.</i> (2003)
Neis cuarzo-feldespático con biotita y neis hornbléndico	Análisis isotópicos Sr y Nd	1.76 a 1.71 Ga (Fuentes de sedimento del protolito).	Ordoñez-Carmona (2006)
Migmatita (Leucosoma)	U-Pb en circones	477,0 ± 5,3 Ma (Migmatización).	Van der Lelij, <i>et al.</i> (2016)
Migmatitas (Leucosomas)	U-Pb en circones	525 ± 39 a ~410 Ma con pico metamórfico en ~460 Ma (Migmatización en el Paleozoico Temprano). ~390 a ~150 Ma (Eventos metamórficos de alta T y baja P sobreimpuestos).	Amaya (2016)
Neis	Huellas de fisión de apatito	4.5 Ma (Exhumación durante el Plioceno).	Amaya (2016)
Neis	Huella de fisión de circones	88.7 Ma (Exhumación erosional del Cretáceo Tardío). 25.1 Ma (Exhumación asociada a la Falla Bucaramanga, durante el Oligoceno Tardío).	Amaya (2016)

Las condiciones de metamorfismo definidas mediante TWQ de Berman por García, *et al.* (2005) indican presiones entre 5.0 y 9.5 Kbar y temperaturas entre 630 y 727 °C, mientras que Amaya (2012) a partir de pseudosecciones realizadas en el software THERIAK-DOMINO

establece condiciones de formación de migmatitas con temperaturas entre 570 y 680 °C y presiones entre 3.1 y 6.7 Kbar. Urueña y Zuluaga (2011) usando Thermocalc determinaron un rango de presión de 5,5 a 7,2 Kbar y una temperatura de 660 a 750 °C.

Los resultados de los cálculos termobarométricos realizados en rocas del NB indican condiciones de parte alta de anfibolita para los sectores central y sur occidental. Zuluaga, *et al.* (2017) definieron un episodio de alta temperatura y baja presión en esta unidad, asociado a migmatización ocurrida durante el Triásico. Además, establecen un pico metamórfico de 660 a 850 °C con presión de 7.5 Kbar alcanzando condiciones en facies granulita.

Los estudios del NB registrados hasta la actualidad se han enfocado en la parte suroeste y central del macizo; la parte oriental es la menos analizada, reportándose solo el trabajo cartográfico de Ward, *et al.* (1973). Por esta razón, este trabajo se centra en el análisis petrográfico de los diferentes litotipos y la determinación de las condiciones de Presión-Temperatura en esta franja, con el fin de contribuir al conocimiento geológico del basamento del Macizo de Santander.

3. Metodología

El trabajo de investigación realizado fue llevado a cabo en las siguientes etapas:

3.1 Primera etapa: Pre-campo.

Se revisó y analizó la bibliografía existente en lo relacionado con mapas topográficos, geológicos, artículos en revistas, libros, etc. con el propósito de planificar el trabajo de campo.

3.2 Segunda etapa: Trabajo de campo.

Se recolectaron datos litológicos, estructurales y geomorfológicos del área. En cada estación se procedió a localizar el punto geográfico en el mapa mediante las coordenadas dadas por el GPS, se estudiaron las características del afloramiento en general y las texturales, estructurales y composicionales de la roca con el fin de establecer los diferentes litotipos de la unidad, su modo de ocurrencia y relación con otras formaciones aflorantes. Por último, se realizó el registro fotográfico con su orientación, la toma de datos estructurales y el muestreo de la roca, considerando que el grado de meteorización de esta fuera el menor posible. La campaña de campo duró 3 días con un total de 15 estaciones y 18 muestras recolectadas.

3.3 Tercera etapa: Laboratorio.

En esta fase se realizó el análisis macroscópico y descripción de las muestras de mano destacando aspectos como el tipo de roca, color, estructura, composición y clasificación según el diagrama de flujo para nombrar una roca metamórfica de Schmid *et al.* (2004) y el diagrama QAPF para rocas ígneas de Streckeisen (1976). De acuerdo con lo anterior, se hizo la selección de muestras para la elaboración 12 secciones delgadas en el laboratorio de preparación de muestras de la Universidad Industrial de Santander.

El análisis petrográfico de estas secciones delgadas se llevó a cabo con el microscopio de luz transmitida LEICA, modelo DM750P, en el laboratorio del Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA) en la sede Guatiguará. Para dicho análisis se usó como base la Guía de Laboratorios de Petrología Ígnea de Mantilla (2003) y el Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica de García (2007). Las descripciones se realizaron teniendo en cuenta elementos composicionales, texturales, estructurales, paragéneticos y las relaciones o asociaciones minerales,

con lo que se definió las condiciones P-T de metamorfismo. Las abreviaturas minerales utilizadas son las propuestas por la SCMR (Tabla 2).

La microscopía electrónica de barrido (SEM) se desarrolló en el Laboratorio de Microscopía del Parque Tecnológico Guatiguará usando el microscopio *Field Emission Gun* (FEG), las imágenes fueron tomadas con el Software EDX Genesis a un alto vacío, voltaje de aceleración de 25 kV para el análisis químico, detector para imágenes de electrones retrodispersados (BSE): *back scattered electron detector* (BSED) tipo SSD, y detector EDAX APOLO X resolución de 126.1 eV (en. Mn K α) para realizar análisis EDS (*Energy-Dispersive Spectroscopy*).

3.4 Cuarta etapa: Trabajo de oficina y elaboración del informe final.

Esta etapa comprendió el análisis, organización e interpretación de los resultados obtenidos en las fases anteriores, así como la elaboración de mapas, tablas, figuras y catálogos.

Tabla 2.

Abreviaturas minerales utilizadas (según la SCMR, 2007).

Mineral	Abreviatura	Mineral	Abreviatura
Andalucita	And	Hornblenda	Hbl
Anfíbol	Amp	Microclina	Mc
Biotita	Bt	Monacita	Mnz
Calcita	Cal	Moscovita	Ms
Clinopiroxeno	Cpx	Opacos	Op
Clorita	Chl	Ortoclasa	Or
Cordierita	Crd	Ortopiroxeno	Opx
Cuarzo	Qtz	Plagioclasa	Pl
Epidota	Ep	Sillimanita	Sil
Esfena	Spn	Turmalina	Tur
Feldespato potásico	Kfs	Wollastonita	Wo

4. Petrografía

Los estudios petrográficos se realizaron y organizaron de acuerdo con el bloque donde afloran las rocas del Neis de Bucaramanga (Figura 2).

4.1 Bloque al este de la Falla Chitagá

Se compone litológicamente de neises biotítico-sillimaníticos, cuarzofeldespáticos, biotíticos y hornbléndicos. En la Tabla 3 se presenta un resumen de la composición mineralógica en porcentaje de las muestras examinadas.

Tabla 3.

Composición mineralógica de los neises en el bloque al este de la Falla Chitagá.

TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA	N° MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL (%)															Secundarios*		Vena Total			
			Qtz	Pl	Or	Mc	Bt	Ms	Sil	And	Crd	Hbl	Opx	Cpx	Ep	Op	Zrn	Spn	Rt		Mnz	Chl	Ser
Meta-Pelítico	Neis biotítico-sillimanítico	JM-1-1	4	13	13	4	16	9	20	2	3	3.5	1.5	10.7						0.3	Bt (50)	Feld (75)	100
		JM-3-1	15	12	20	10	15	5	15		1				6.7					0.3	Bt (15)	Feld (40)	100
Meta-Cuarzofeldespático	Neis cuarzofeldespático con biotita	JM-4-1	35	4	20.5	7	18	2	10					3					0.5	Bt (10)	Feld (10)	100	
Meta-Pelítico	Neis biotítico	JM-13-1	8	17	26	35	3				2.5			4.7	0.3	0.7	0.4	0.4		Bt (30)	Feld (50)	Chl (2)	100
Meta-Cuarzofeldespático	Neis cuarzofeldespático con cordierita	JM-14-1	16	24	26	3	1	10			12			7.7					0.3		Feld (70)		100
Meta-Máfico	Neis hornbléndico	JM-15-1	17	11	20	15							32						5	Bt (95)	Feld (25)	100	

Nota: *Porcentaje de reemplazamiento por minerales secundarios.

4.1.1 Neis biotítico-sillimanítico (JM-1-1). Roca color gris azulado, con alto grado de compactación y estructura cataclástica de grano medio a fino (Figura 3). Se compone en su mayoría de sillimanita (20%) que presenta dos generaciones, la primera corresponde a cristales subidioblásticos prismáticos con terminaciones fibrosas e inclusiones de opacos orientados en los planos de la sillimanita (Figura 4D), la segunda es fibrolita, la cual se presenta cortando otros minerales y reemplazando biotita (Figura 4E); biotita (16%) que presenta dos generaciones, la primera es hojosa subidioblástica y altera moderadamente a clorita, y la segunda ocurre producto

de reemplazamiento hacia los bordes de cordierita y está asociada a moscovita; ortoclasa (13%) es xenoblástica y altera a sericita distribuida uniformemente sobre el cristal y rellenando fracturas; plagioclasa (13%) es xenoblástica, presenta maclado polisintético y alteración a sericita; minerales opacos (10.7%) son idioblásticos a subidioblásticos incluidos en todos los minerales y moscovita (9%) es subidioblástica alargada y algunos individuos presentan pliegues tipo *kink* (Figura 4A).

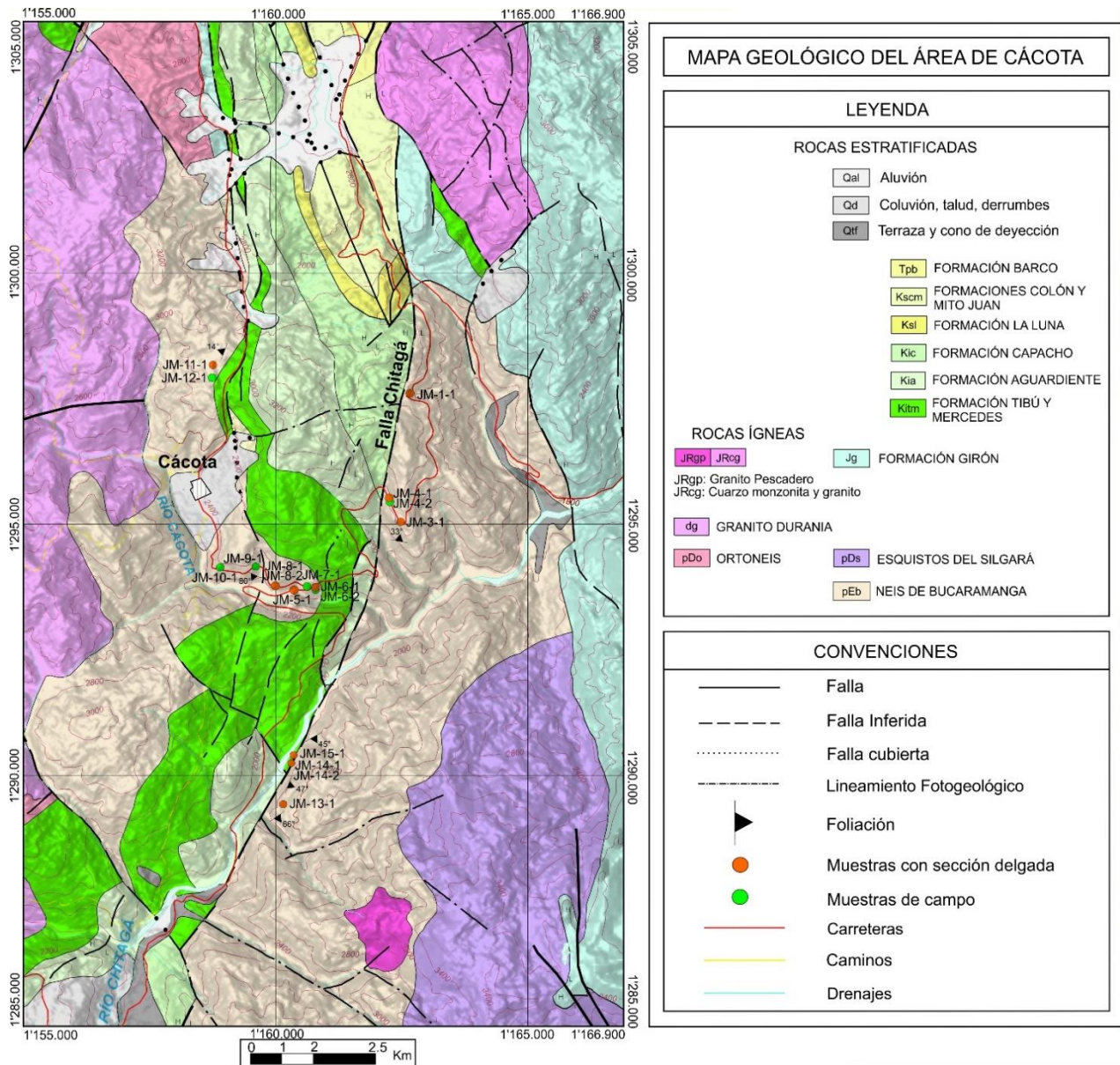


Figura 2. Mapa geológico y localización de muestras. Modificado de Ward *et al.* (1973).

Los minerales menores corresponden a microclina (4%) es xenoblástica con maclado de tartán y altera a sericita, la cual aparece hacia los bordes y rellenando sus fracturas; cuarzo (4%) es xenoblástico con inclusiones de minerales opacos; ortopiroxeno (3.5%) es xenoblástico, altera a clinopiroxeno y algunos cristales están incluidos en masas sericíticas producto de alteración de plagioclasa (Figura 4C); cordierita (3%) es pseudohexagonal y xenoblástica incolora con maclas mecánicas y pliegues tipo *kink* debido a la intensa deformación (Figura 4B), algunos individuos se localizan en matrices sericíticas, altera a pinnita y biotita²; andalucita (2%) es incolora xenoblástica alargada, está siendo reemplazada por sillimanita², y clinopiroxeno (1.5%) es xenoblástico con colores de interferencia de primer a segundo orden; como mineral accesorio se encuentra monacita (0.3%) es xenoblástica a subidioblástica redondeada.

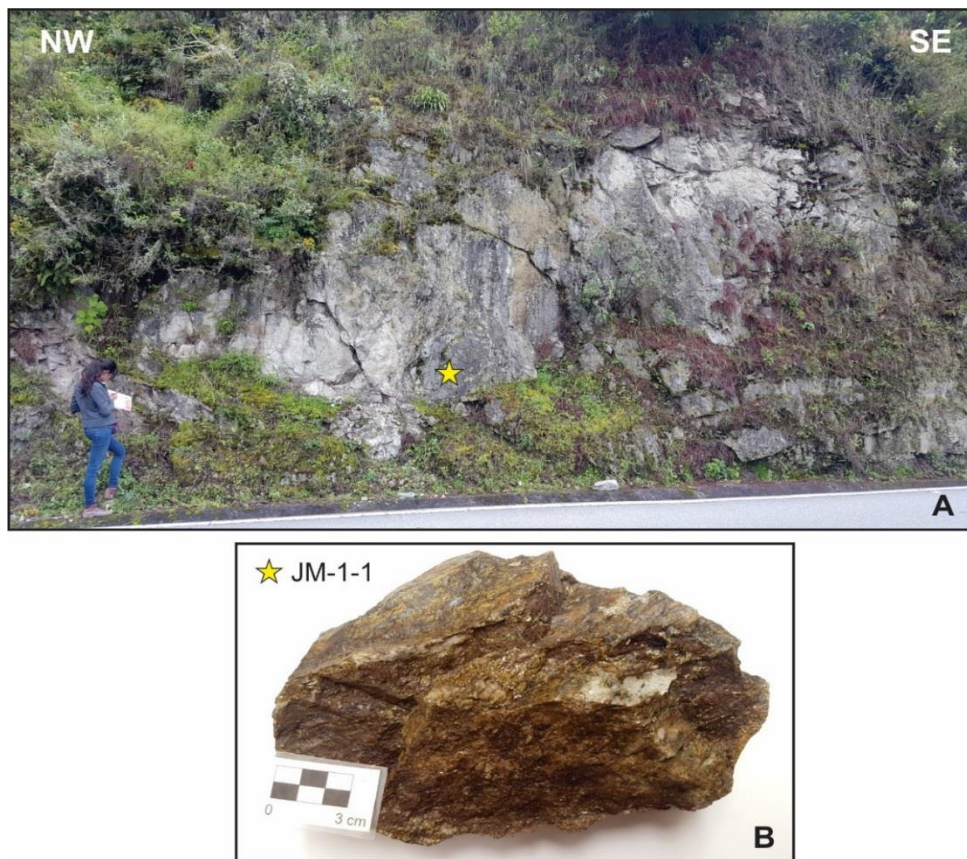


Figura 3. A) Afloramiento de neis biotítico-sillimanítico (JM-1-1) por la vía Pamplona-Chitagá, 6 Km adelante de La Lejía. B) Muestra de mano JM-1-1.

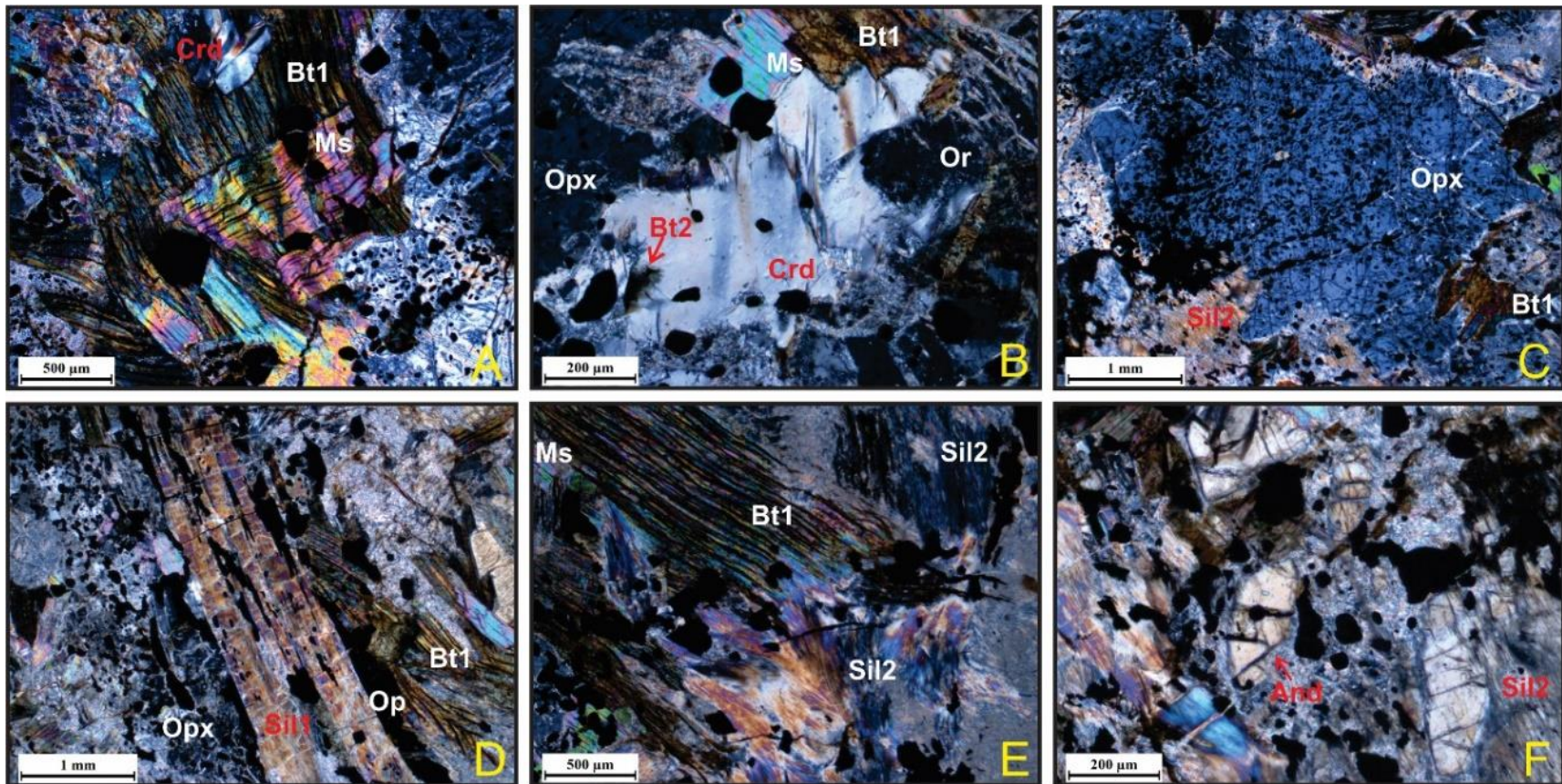
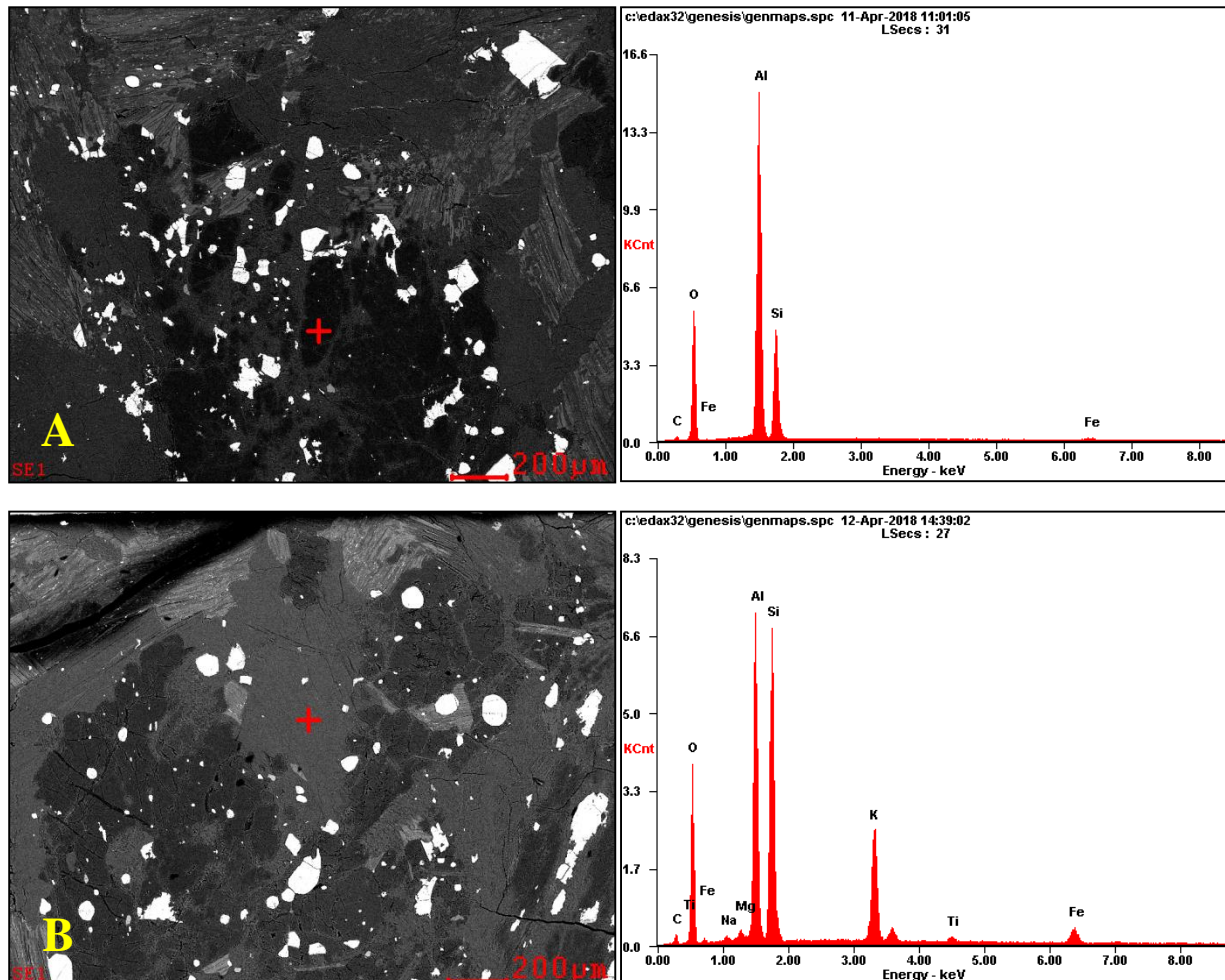


Figura 4. Microfotografías del neis biotítico-sillimanítico (JM-1-1). A) Estructura cataclástica y moscovita presentando pliegues tipo *kink*. B) Cordierita biotitizada, presenta maclas mecánicas y deformación evidenciada en pliegues tipo *kink*. C) Porfidoblasto de ortopiroxeno con numerosas inclusiones de opacos. D) Los opacos incluidos en sillimanita1 ocurren orientados siguiendo los planos de ésta. E) Sillimanita2 está reemplazando biotita. F) Andalusita siendo reemplazada por sillimanita2. (A-B-C-D-E-F) Nícoles cruzados.

Mediante la práctica del SEM se estudiaron algunos minerales como lo son la andalucita con bajo contenido de hierro; cordierita que presenta potasio y sodio debido a la alteración, y minerales opacos clasificados como ilmenita (Figura 5).

La roca presenta una textura principal granolepidoblástica y cataclástica (Figura 4A). Localmente se desarrollan de tipo porfidoblástica en matriz granolepidoblástica, y poiquiloblástica en cristales de cuarzo y plagioclasa principalmente.

La paragénesis del pico metamórfico es: Cpx + Opx + Crd + Bt1 + Kfs + Pl + Sil1 + And. Por otro lado, la formación de Sil2 se asocia a eventos dinámicos con inyección de fluidos y parte de la etapa retrograda está registrada en la paragénesis Bt2 + Ms.



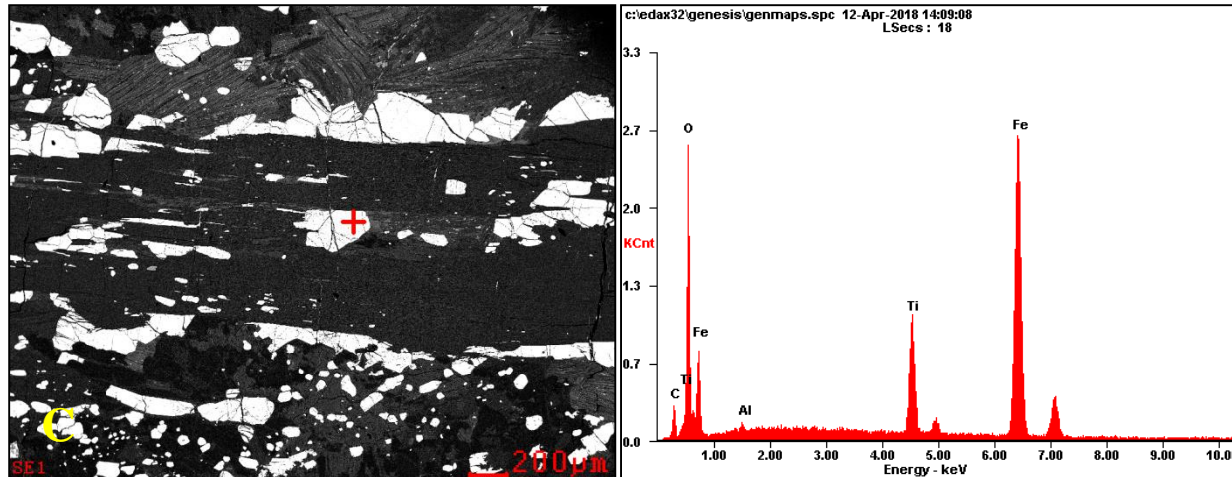


Figura 5. Morfología y espectro de dispersión de los minerales analizados al SEM en la muestra JM-1-1. A) Andalucita. B) Cordierita. C) Ilmenita.

4.1.2 Neis biotítico-sillimanítico (JM-3-1). Roca color gris con algunas tonalidades ocre, moderadamente maciza, de estructura néisica y grano fino a muy fino (Figura 6). La foliación que se desarrolla es espaciada, donde los dominios de clivajes tienen forma grosera, relación espacial paralela y transición gradacional con los microlitones (Figura 7B). En su mayoría se compone de ortoclasa (20%) es xenoblástica y altera a sericita, la cual se halla uniformemente distribuida sobre el cristal; cuarzo (15%) que presenta dos generaciones, la primera es subidioblástica con inclusiones de feldespatos y opacos, y la segunda es redondeada producto de recristalización ubicada en las masas sericíticas; biotita (15%) es hojosa subidioblástica con inclusiones de cuarzo y rutilo, altera a clorita y algunos individuos ocurren como porfidoblastos (Figura 7E); sillimanita (15%) que presenta dos generaciones, la primera es subidioblástica prismática y la segunda es fibrosa, corta e intercrece otros minerales desordenadamente, reemplaza biotita y está asociada a moscovita (Figura 7C); plagioclasa (12%) es xenoblástica, leve maclado polisintético y altera fuertemente a sericita; microclina (10%) es xenoblástica con maclado de tartán y alteración a sericita y opacos (6.7%) son idioblásticos a subidioblásticos.

Como minerales menores se encuentra la moscovita (5%) es subidioblástica hojosa con numerosas inclusiones de cuarzo y en menor cantidad de opacos, y cordierita (1%) es pseudo-hexagonal y altera a pinnita (Figura 7A), por último, el mineral accesorio es monacita (0.3%) es subidioblástica ovalada incluida en cuarzo y microclina.

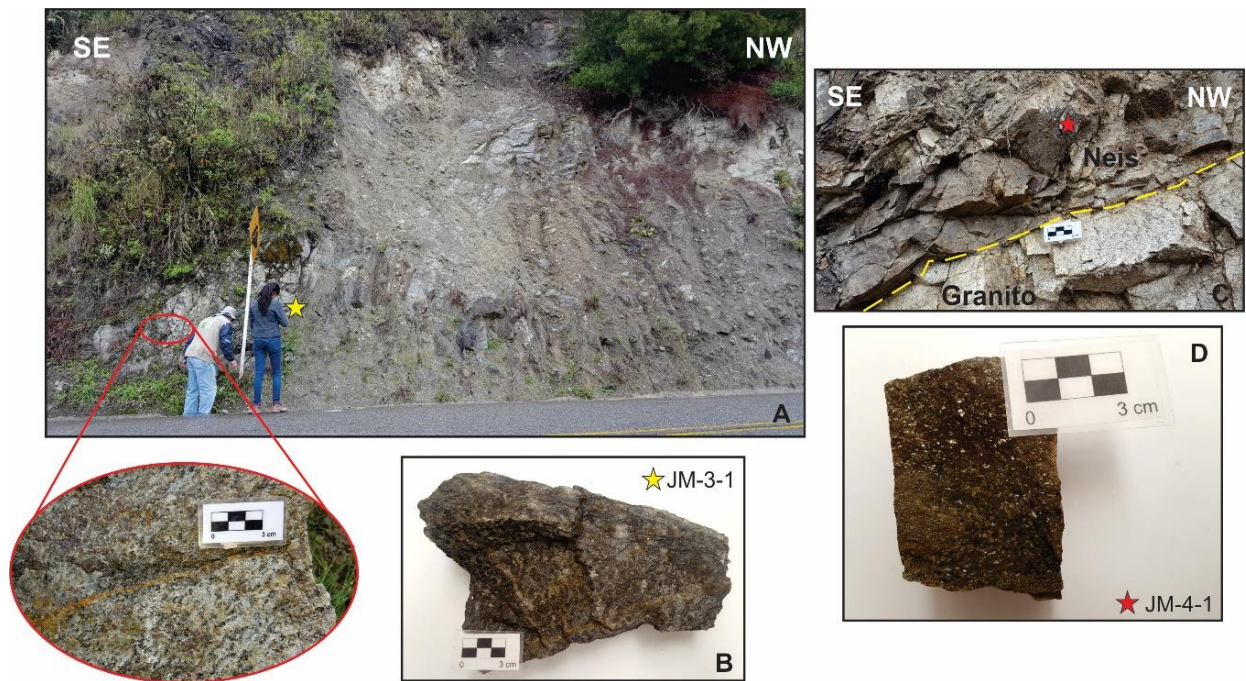


Figura 6. A) Afloramiento de neis biotítico-sillimanítico (JM-3-1) ubicado por la vía Pamplona-Chitagá, 7.5 Km adelante de La Lejía. B) Muestra de mano JM-3-1. C) Afloramiento de neis cuarzofeldespático con biotita (JM-4-1) en contacto con granito que presenta deformación sintectónica, a 8 Km delante de La Lejía. D) Muestra de mano JM-4-1.

La roca presenta una textura principal lepidogranoblástica (Figura 7B). Localmente se evidencian texturas de tipo pertítica (Figura 7D), porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica, poiquiloblástica en cristales de plagioclasa, moscovita y biotita (Figura 7E), y mirmequítica (Figura 7F). La paragénesis del pico metamórfico es $Crd + Bt + Sil1 + Qtz1 + Kfs + Pl$, mientras que la $Sil2 + Ms?$ corresponden a eventos dinámicos muy cercanos a las condiciones máximas.

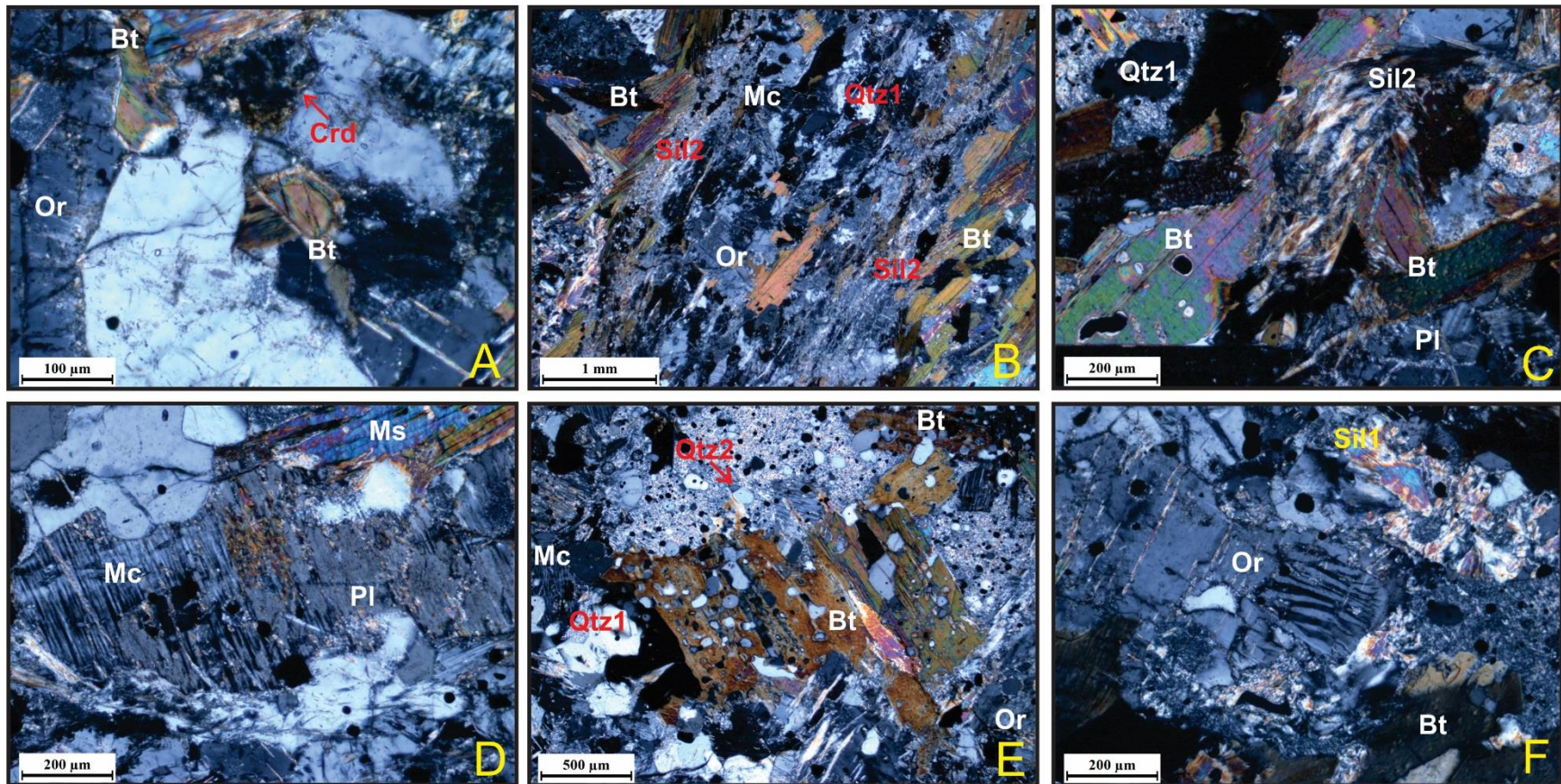


Figura 7. Microfotografías del neis biotítico-sillimanítico (JM-3-1). A). Cordierita alterando a pinnita. B) Textura principal lepidogranoblástica y foliación espaciada, donde los dominios de clivajes tienen forma grosera y transición gradacional con los microlitones. C) Sillimanita2 reemplazando biotita. D) Textura perítica. E) Textura porfidoblástica y poiquiloblástica en mineral de biotita en matriz lepidogranoblástica. F) Textura mirmequítica. (A-B-C-D-E-F) Nícoles cruzados.

4.1.3 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-4-1). Roca color ocre con tonalidades grises, moderadamente compacta, de estructura néisica y tamaño de grano medio a fino. La foliación continua desarrollada está definida por la orientación de biotita (Figura 8A). Está compuesta predominantemente de cuarzo (35%) es xenoblástico con inclusiones de biotita y plagioclasa, ortoclasa (20.5%) es xenoblástica con bordes irregulares y altera a sericita, la cual aparece distribuida uniformemente sobre los cristales; biotita (18%) es subidioblástica tabular alargada, altera a clorita y algunos cristales se presentan como porfidoblastos; sillimanita (10%) presenta dos generaciones, la primera es subidioblástica prismática y la segunda es fibrosa de bordes irregulares y está asociada a moscovita, y microclina (7%) es xenoblástica con maclado de tartán y algunos de sus individuos alteran a sericita, la cual se desarrolla hacia los bordes de los cristales.

En menor cantidad se presenta plagioclasa (4%) es xenoblástica a subidioblástica con macla polisintética y bordes irregulares debido a una débil alteración a sericita; opacos (3%) son xenoblásticos a subidioblásticos incluidos en todos los minerales, y moscovita (2%) es tabular alargada subidioblástica, y como mineral accesorio monacita (0.5%) es xenoblástica a subidioblástica redondeada y está incluida en cuarzo, ortoclasa, microclina y plagioclasa.

La roca presenta una textura principal lepidogranoblástica (Figura 8A), y texturas locales de tipo mirmequítica (Figura 8B) y porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica.

La paragénesis que indica las condiciones máximas en la roca es $Bt + Qtz + Pl + Kfs + Sil1$. Por otra parte, la $Sil2 + Ms$ son asociadas a un evento dinámico ligeramente posterior al pico metamórfico.

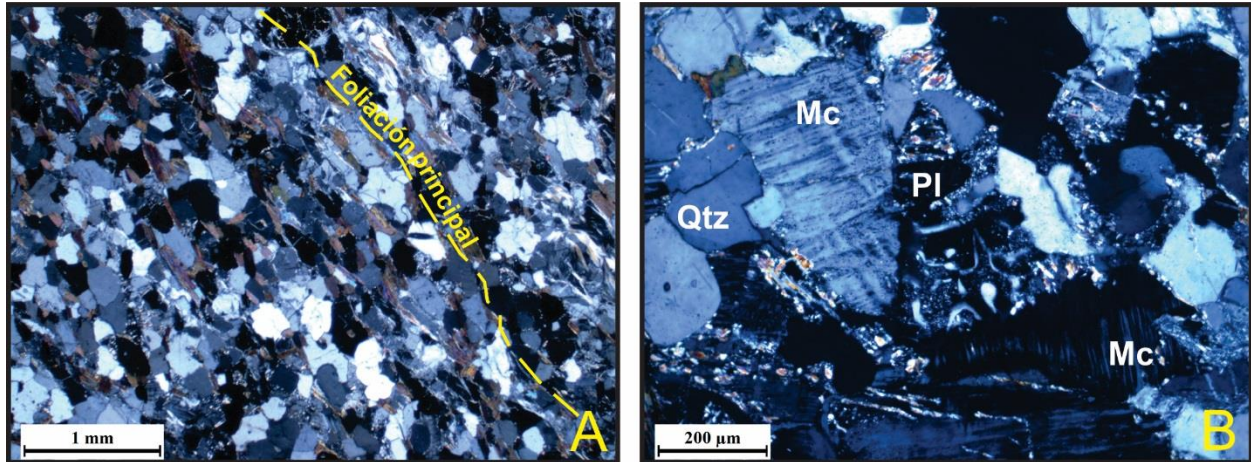


Figura 8. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con biotita (JM-4-1). A) Foliación continua definida por la orientación de la biotita, al igual se observa la textura principal lepidogranoblástica. B) Textura local de tipo mirmequítica. (A-B) Nícoles cruzados.

4.1.4 Neis biotítico (JM-13-1). Roca color ocre con tonalidades grises y crema, grado medio de compactación, estructura néisica y tamaño de grano fino a muy fino (Figura 9). La foliación continua desarrollada está definida por la orientación de biotita (Figura 10A). En la composición mineralógica predomina la biotita (35%) es idioblástica con inclusiones de rutilo, reacciona con óxidos y altera a clorita; ortoclasa (26%) es xenoblástica y altera intensamente a sericita; plagioclasa (17%) es xenoblástica con macla polisintética y bordes irregulares producto de la abundante sericitización, y cuarzo (8%) es xenoblástico a subidioblástico; seguido de minerales menores tales como opacos (4.7%) son xenoblásticos a subidioblásticos con diversas formas geométricas rodeados de epidota; moscovita (3%) es hojosa subidioblástica y corta la foliación principal; cordierita (2.5%) es pseudo hexagonal con inclusiones de circón y rutilo, bordes de epidota y alteración a pinnita, y clorita (2%) es xenoblástica y se encuentra diseminada como resultado de la alteración hidrotermal, también se presenta una vena con un ancho de 0.06 mm. Por último, los minerales accesorios corresponden a la esfena (0.7%) es romboédrica y está incluida en biotita, plagioclasa y cordierita; monacita (0.4%) es xenoblástica a subidioblástica

redondeada; rutilo (0.4%) ocurre en forma de agujas muy finas incluidas en la biotita y cordierita, y circón (0.3%) es ovalado y está incluido en cordierita y ortoclasa.

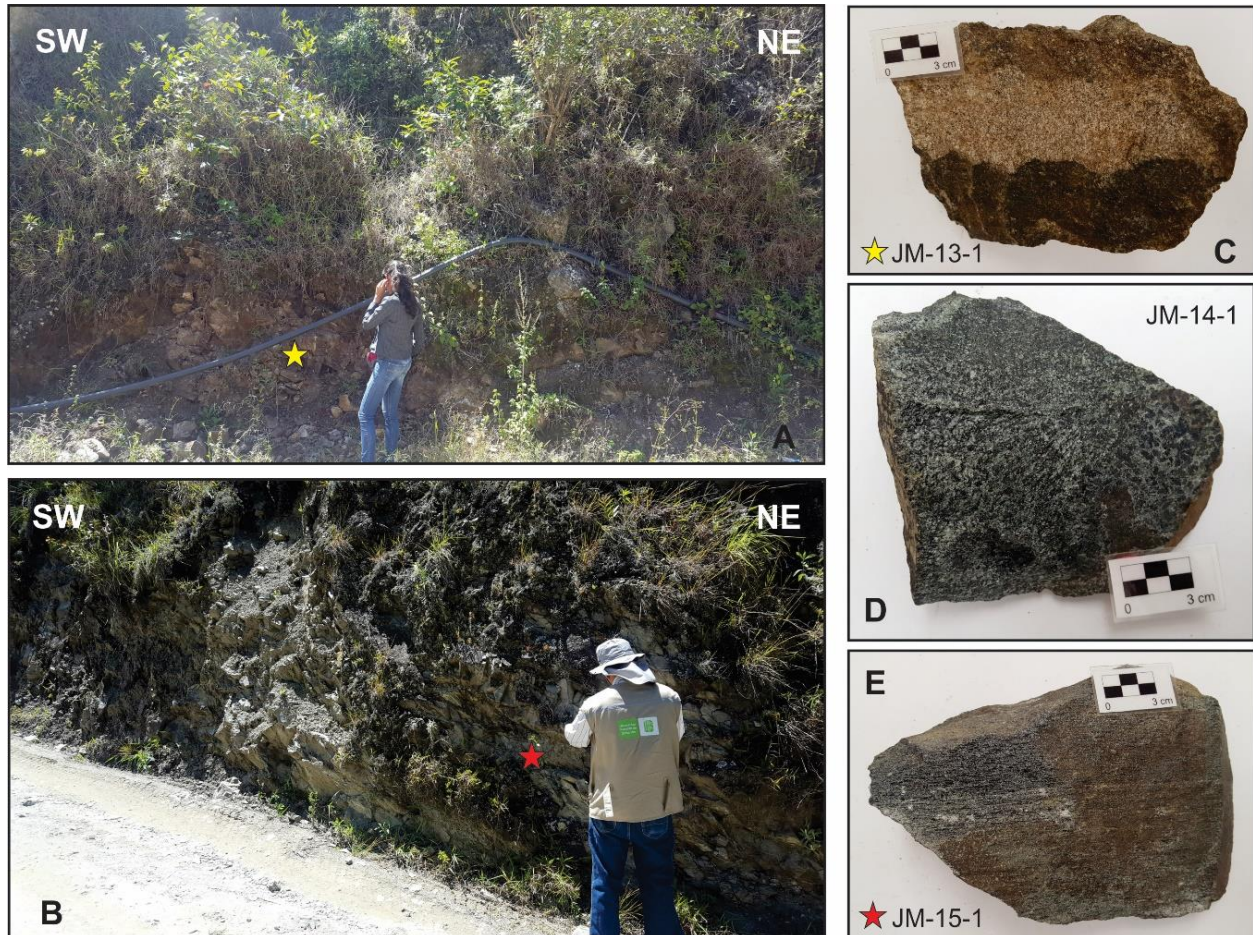


Figura 9. A) Afloramiento de neis biotítico (JM-13-1) ubicado en la vereda Taporcúa, al margen derecho del Río Chitagá, al igual que B. B) Afloramiento de neis hornbléndico (JM-15-1). C) Muestra de mano JM-13-1. D) Muestra de mano JM-14-1. E) Muestra de mano JM-15-1.

La roca presenta una textura principal granolepidoblástica (Figura 10A) y texturas locales poiquiloblásticas en los cristales de plagioclasa (Figura 10B). La paragénesis del pico metamórfico corresponde a $Crd + Bt + Pl + Or + Qtz$.

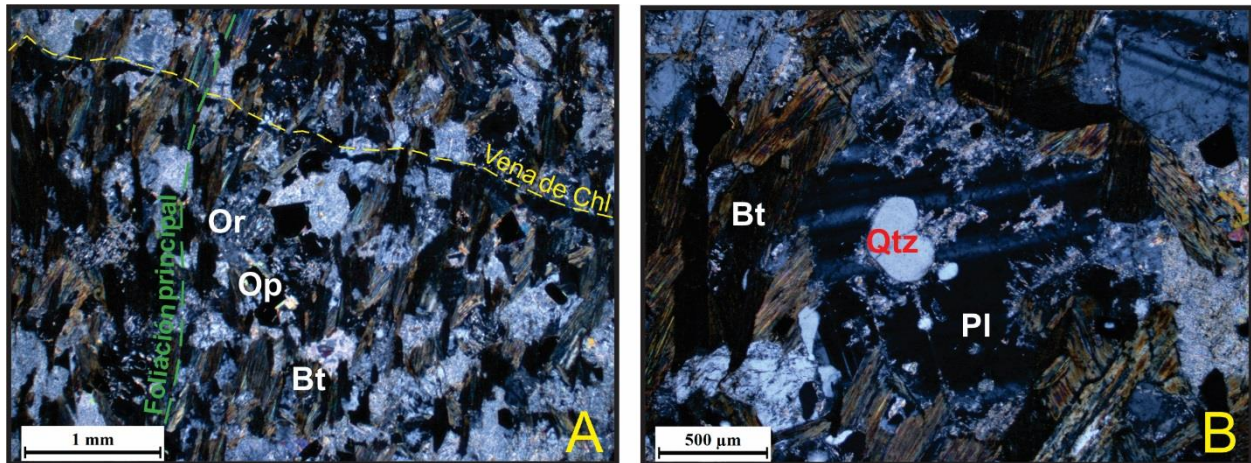


Figura 10. Microfotografías del neis biotítico (JM-13-1). A) Foliación continua definida por la orientación de la biotita, textura granolepidoblástica y se distingue una vena de clorita con un ancho de 0.06 mm. B) Textura poiquiloblástica en cristal de plagioclasa. (A-B) Nícoles cruzados.

4.1.5 Neis cuarzofeldespático con cordierita (JM-14-1). Roca color gris con tonalidades negras y verdosas, alto grado de compactación, estructura néisica con deformación cataclástica y tamaño de grano fino a muy fino. Presenta una foliación continua definida por la orientación de sillimanita (Figura 11A). Mineralógicamente, ocurren como minerales mayores la ortoclasa (26%) es subidioblástica con fuerte alteración a sericita, plagioclasa (24%) es xenoblástica con maclado polisintético y altera a sericita; cuarzo (16%) es subidioblástico con bordes irregulares, su tamaño de grano es fino a muy fino aunque se encuentran fenocristales de hasta 2 mm; cordierita (12%) es pseudohexagonal aunque algunos individuos son xenoblásticos y alteran a pinnita (Figura 11C); sillimanita (10%) que presenta dos generaciones, la primera es fibrosa orientada concordantemente con la foliación de la roca y reemplaza biotita (Figura 11B), la segunda también está reemplazando biotita pero su orientación es discordante a la foliación, y opacos (7.7%) con distintas formas, desde redondos a rectangulares y algunos cristales tienen bordes corroídos y un color rojizo.

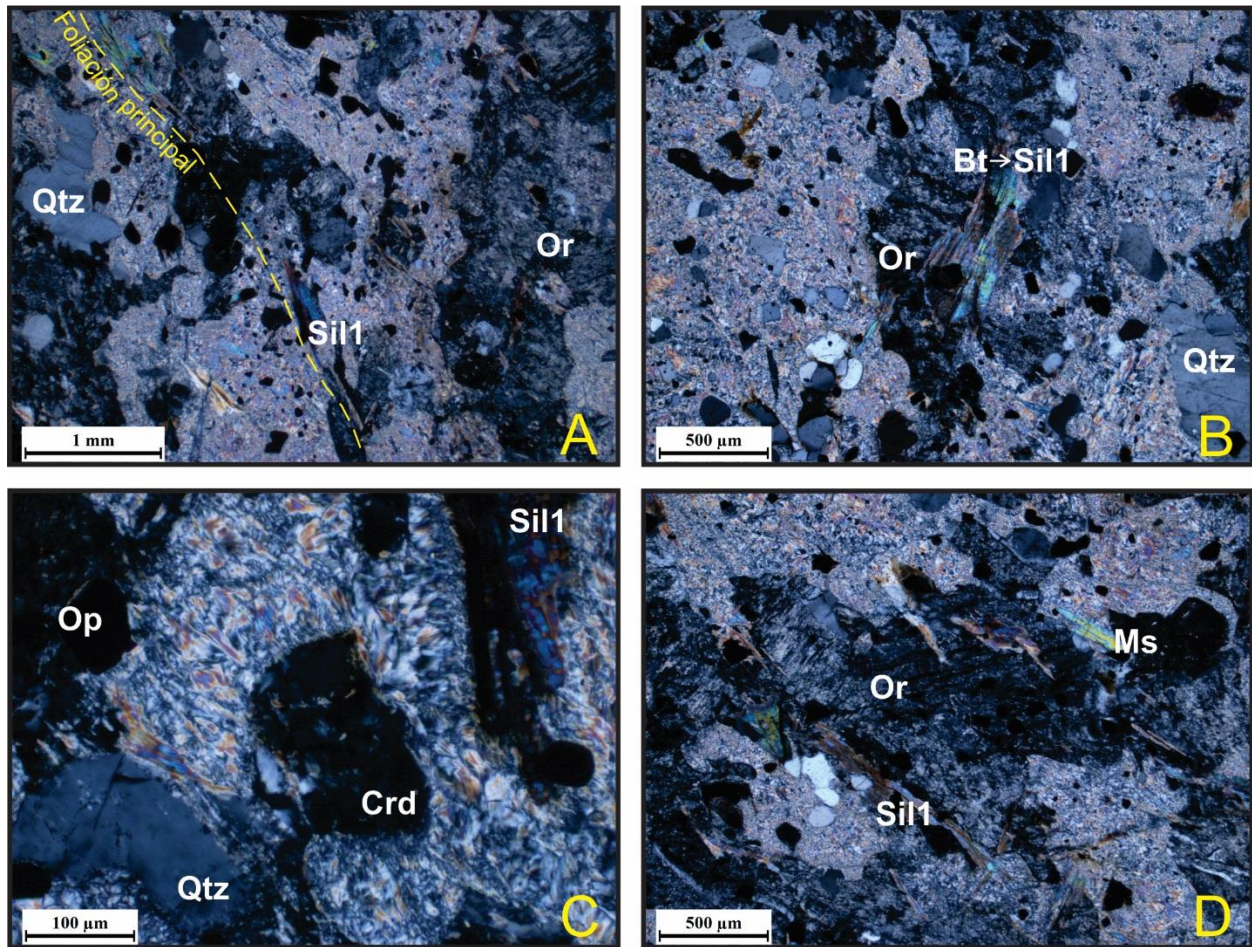


Figura 11. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con cordierita (JM-14-1). A) Foliación continua definida por la orientación de sillimanita; B) Textura lepidogranoblástica, en el centro de la imagen se observa sillimanita1 reemplazando biotita. C) Cordierita alterando a pinnita. D) Textura poikiloblástica y porfidoblástica en ortoclasa. (A-B-C-D) Nícoles cruzados.

Los minerales menores son la biotita (3%) es idioblástica y moscovita (1%) es idioblástica tabular alargada y ocurre posterior al metamorfismo; en último lugar, el mineral accesorio es la monacita (0.3%) es xenoblástica a subidioblástica redondeada incluida en feldespatos y cuarzo.

La textura predominante es lepidogranoblástica (Figura 11B). Localmente se presentan texturas poikiloblástica en cristales de ortoclasa y porfidoblástica en matriz lepidoblástica (Figura 11D). La paragénesis del pico metamórfico es $Crd + Or + Qtz + Pl + Sil1$. La $Sil2 + Ms?$ corresponden a un episodio dinámico ligeramente posterior a las condiciones máximas.

4.1.6 Neis hornbléndico (JM-15-1). Roca gris con tonalidades negras y verdosas, altamente maciza, de estructura néisica y grano medio a muy fino. Presenta una leve foliación continua definida por la orientación preferencial de minerales tabulares alargados y hojosos, en este caso hornblenda y biotita (Figura 12A). Está compuesta en su mayoría por hornblenda (32%) es subidioblástica y altera a clorita; ortoclasa (20%) es xenoblástica con bordes irregulares a ondulados y altera débilmente a sericita que ocurre como agregados escamosos distribuidos uniformemente sobre el cristal; cuarzo (17%) es xenoblástico con bordes irregulares, biotita (15%) es subidioblástica tabular alargada con alteración fuerte a clorita, la cual la reemplaza casi en su totalidad; plagioclasa (11%) es xenoblástica a subidioblástica con maclado polisintético, presenta débil alteración a sericita distribuida uniformemente sobre el mineral, y finalmente epidota (5%) ocurre como cristales xenoblásticos a subidioblásticos tabulares alargados.

La roca presenta una textura principal nematogranoblástica (Figura 12A) y texturas locales de tipo poiquiloblástica en cristales de ortoclasa, cuarzo, hornblenda y plagioclasa (Figura 12B). La paragénesis que indica las condiciones máximas de la roca es: $Hbl + Qtz + Pl + Or + Bt + Ep$.

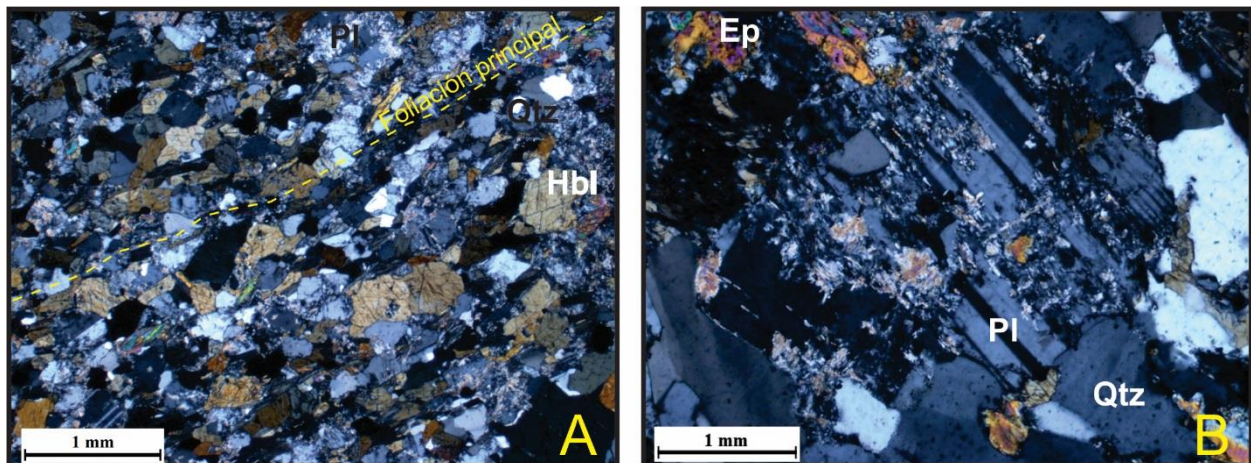


Figura 12. Microfotografías del neis hornbléndico (JM-15-1). A) Foliación continua definida por la orientación preferencial de hornblenda y biotita, también se aprecia la textura principal nematogranoblástica. B) Textura local de tipo poiquiloblástica. (A-B) Nícoles cruzados.

4.2 Bloque al oeste de la Falla Chitagá.

Este bloque está constituido por neises cuarzofeldespáticos con biotita, anfibolitas y granulitas. En la Tabla 4 se presenta un resumen de las composiciones mineralógicas en porcentaje de las muestras estudiadas.

Tabla 4.

Composición mineralógica de las rocas del bloque al oeste de la Falla Chitagá.

TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA	N° MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL (%)														Secundarios*		Vena	Total					
			Qtz	Pl	Or	Mc	Bt	Ms	Sil	Crd	Hbl	Op	Cpx	Ep	Op	Cal	Wo	Chl			Tur	Spn	Mnz	Chl	Ser
Meta-Cuarzofeldespático	Neis cuarzofeldespático con biotita	JM-5-1	25	14	30		22	2						6							1	Bt (5)	Feld (10)	100	
		JM-6-1	23	12	15	8	14	6	10	2					9.5							0.5	Bt (15)	Feld (50)	100
		JM-11-1	11	32			8	7		2					5			11	1			0.7	Bt (80)	Feld (95)	Tur (15.3) Qtz (7)
Meta-Máfico	Anfibolita	JM-8-1	13	9	4.5					70.2				2								0.3	Feld (5)	Cal (1)	100
	Granulita	JM-8-2	2	13	15.5	17								18	10	1	1	9	5.5		5	1	Feld (15)	Cal (2)	100

Nota: *Porcentaje de reemplazamiento por minerales secundarios.

4.2.1 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-5-1). Roca de color grisáceo con tonalidades ocre, grado medio de compactación, estructura néisica y grano medio a fino (Figura 14A). Presenta leve foliación continua definida por la biotita (Figura 13A). Está compuesta en su mayoría de ortoclasa (30%) es xenoblástica con inclusiones de cuarzo y biotita, altera a sericita desarrollada uniformemente sobre el cristal; cuarzo (25%) es xenoblástico con inclusiones de biotita; biotita (22%) es hojosa subidioblástica y altera levemente a clorita que ocurre desde los bordes hacia el centro del mineral; plagioclasa (14%) es xenoblástica con maclado polisintético, inclusiones de cuarzo y biotita y altera a sericita uniformemente sobre los individuos, y opacos (6%) son xenoblásticos a subidioblásticos incluidos en todos los minerales. En menor cantidad se constituye por moscovita (2%) es subidioblástica tabular alargada y ocurre posterior al metamorfismo, y monacita (1%) es xenoblástica a subidioblástica redondeada incluida en feldespatos y cuarzo.

La textura predominante es lepidogranoblástica (Figura 13A). Localmente se presentan las texturas porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica y poiquiloblástica en cristales de ortoclasa y cuarzo (Figura 13B). La paragénesis del pico metamórfico corresponde a $Pl + Or + Qtz + Bt$.

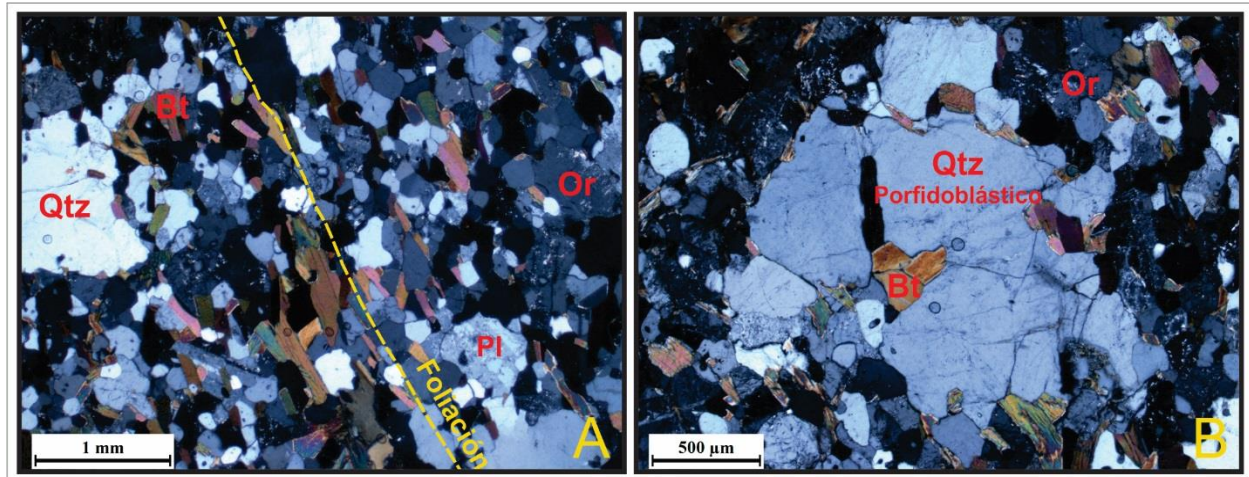


Figura 13. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con biotita (JM-5-1). A) Foliación continua definida por la biotita y textura lepidogranoblástica. B) Textura porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica y poiquiloblástica en cuarzo. (A-B) Nícoles cruzados.

4.2.2 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-6-1). Roca color gris con tonalidades ocre, moderadamente maciza, de estructura néisica y tamaño de grano fino a muy fino (Figura 14). La foliación desarrollada se define por un bandeo composicional y variación en el tamaño de grano. Mineralógicamente predominan el cuarzo (23%) que se presenta en dos generaciones, la primera es subidioblástica con inclusiones de opacos y la segunda es xenoblástica, producto de recrystalización y asociada a sillimanita; ortoclasa (15%) es xenoblástica y altera a sericita distribuida uniformemente sobre el cristal; biotita (14%) que ocurre en dos generaciones, la primera es hojosa subidioblástica y altera a clorita, y la segunda son cristales más delgados y alargados que cortan los demás minerales, de origen más tardío respecto a la anterior y asociados a moscovita²; plagioclasa (12%) es xenoblástica con maclado polisintético, inclusiones de biotita y altera a sericita desarrollada uniformemente sobre el cristal; sillimanita (10%) es fibrolita

generada por reacciones entre moscovita y cuarzo localizados en las masas sericíticas (Figura 15A) y por reemplazamiento de biotita (Figura 15B), corresponde a la fase más tardía junto al cuarzo de recristalización; opacos (9.5%) son redondos a rectangulares incluidos en todos los minerales; microclina (8%) es xenoblástica con maclado de tartán y altera a sericita; moscovita (6%) que se presenta en dos generaciones, la primera es subidioblástica tabular alargada relacionada con la biotita₁ y la segunda es producto de recristalización y está asociada a la biotita₂. En menor cantidad se encuentra cordierita (2%) es pseudo-hexagonal con leve maclado y altera a pinnita, y como mineral accesorio monacita (0.5%) es xenoblástica a subidioblástica redondeada.

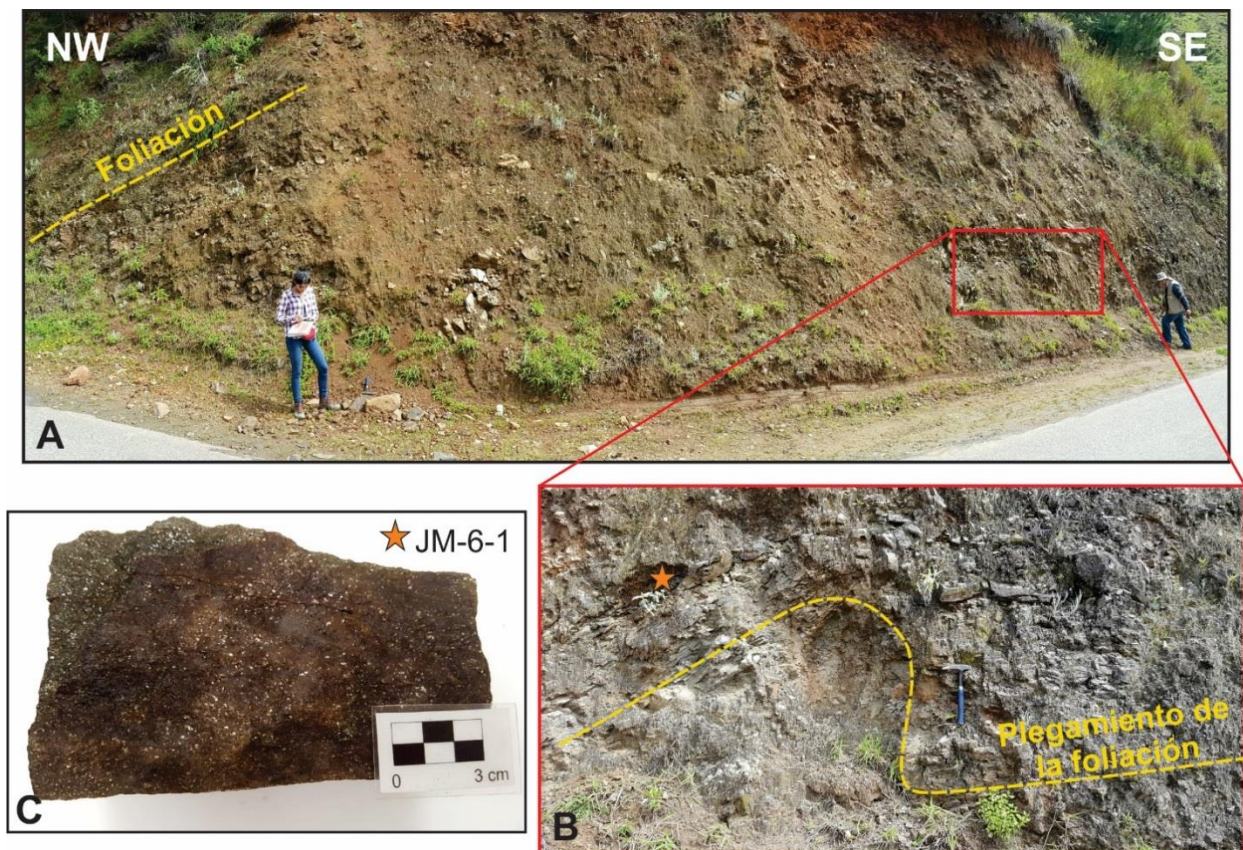


Figura 14. A) Afloramiento de neis cuarzofeldespático con biotita (JM-6-1) en la vía Pamplona-Cácota, margen derecho 100 m adelante del desvío a Cécota. B) Acercamiento al afloramiento donde se evidencia un plegamiento en la foliación. C) Muestra de mano JM-6-1.

A partir del espectro dado por el SEM se determinó que los minerales opacos corresponden a óxidos de hierro clasificados como hematita (Figura 16).

La textura principal es lepidogranoblástica (Figura 15C) y las locales son de tipo porfidoblástica en matriz lepidoblástica y mirmequítica (Figura 15D). La paragénesis que indica las condiciones máximas en la roca es $\text{Crd} + \text{Qtz1} + \text{Kfs} + \text{Pl} + \text{Bt1(?) + Ms1(?)}$; posteriormente se presentan $\text{Bt2} + \text{Ms2 (?)}$, y por último $\text{Sil} + \text{Qtz2}$.

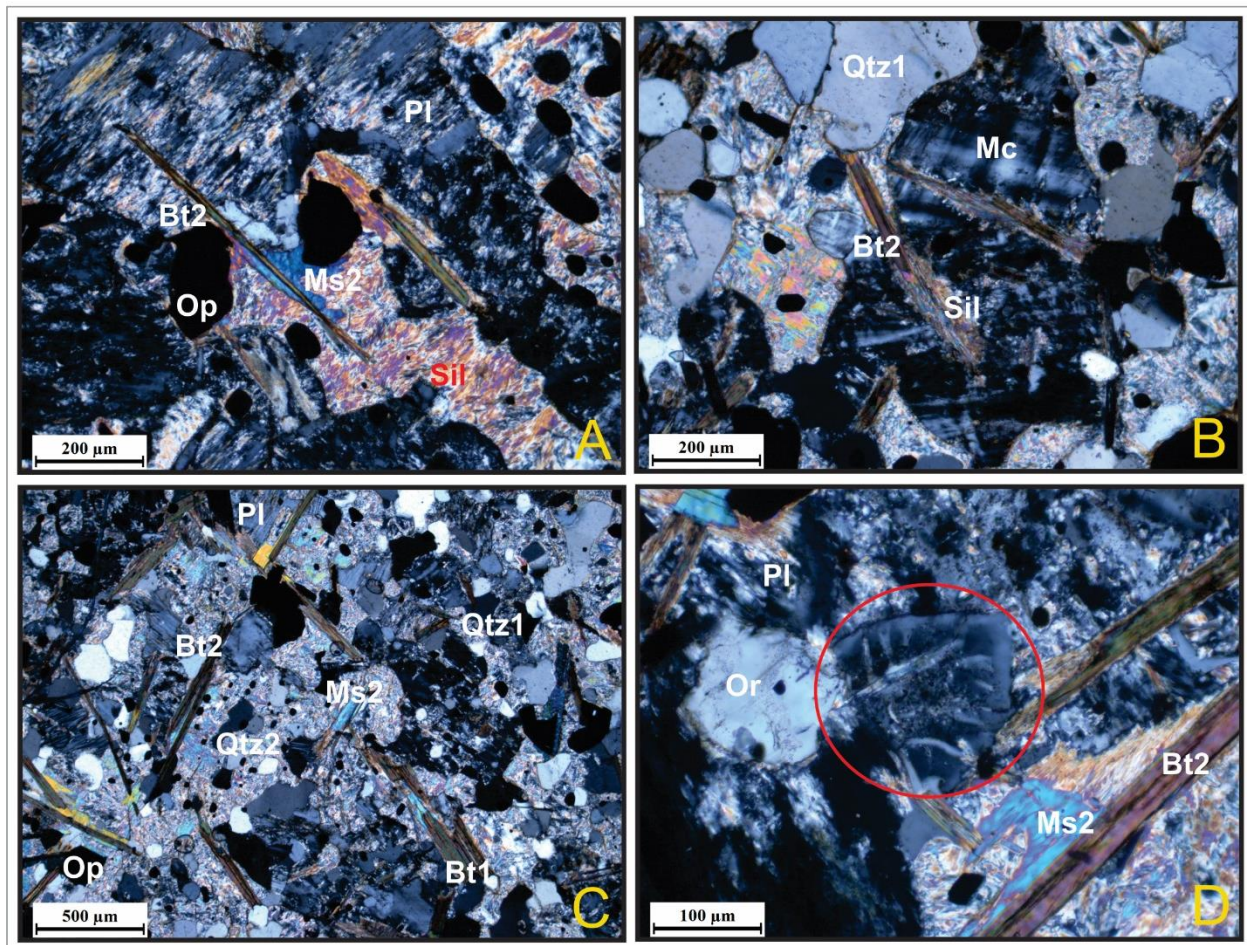


Figura 15. Microfotografías del neis cuarzo-feldespático con biotita (JM-6-1). A) Sillimanita generada en las masas sericíticas por reacciones entre cuarzo y moscovita. B) Sillimanita reemplazando biotita2. C) Textura lepidogranoblástica. D) Textura mirmequítica. (A-B-C-D) Nicols cruzados.

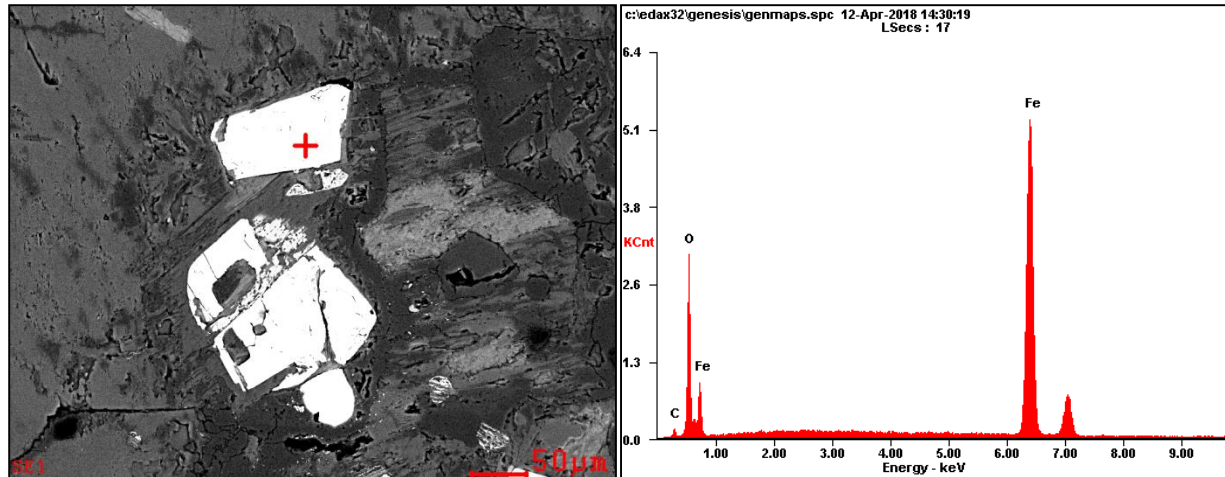


Figura 16. Morfología y espectro de dispersión de la hematita identificada mediante el SEM a la muestra JM-6-1.

4.2.3 Anfibolita (JM-8-1). Roca color negro con tonalidades grises y crema, alto grado de compactación, de estructura masiva y grano medio a fino (Figura 17). La foliación es continua definida por la orientación preferencial de minerales prismáticos tabulares alargados, en este caso anfíboles (Figura 18A). Está compuesta principalmente por hornblenda (70.2%) es subidioblástica con inclusiones de cuarzo y opacos; cuarzo (13%) es xenoblástico de bordes irregulares; plagioclasa (9%) es xenoblástica con macla polisintética y altera a sericita hacia los bordes del cristal, y ortoclasa (4.5%) es subidioblástica y altera débilmente a sericita en los bordes de los individuos. En menor cantidad ocurren opacos (2%) son subidioblásticos incluidos en los demás minerales; por último, el mineral accesorio monacita (0.3%) es subidioblástica incluida en cuarzo, plagioclasa y hornblenda. Además, se evidencia una vena de calcita (1%) cortando dichos minerales.

La roca presenta una textura principal de tipo granonematoblástica (Figura 18B) y la paragénesis del pico metamórfico corresponde a $Hbl + Or + Pl + Qtz$.

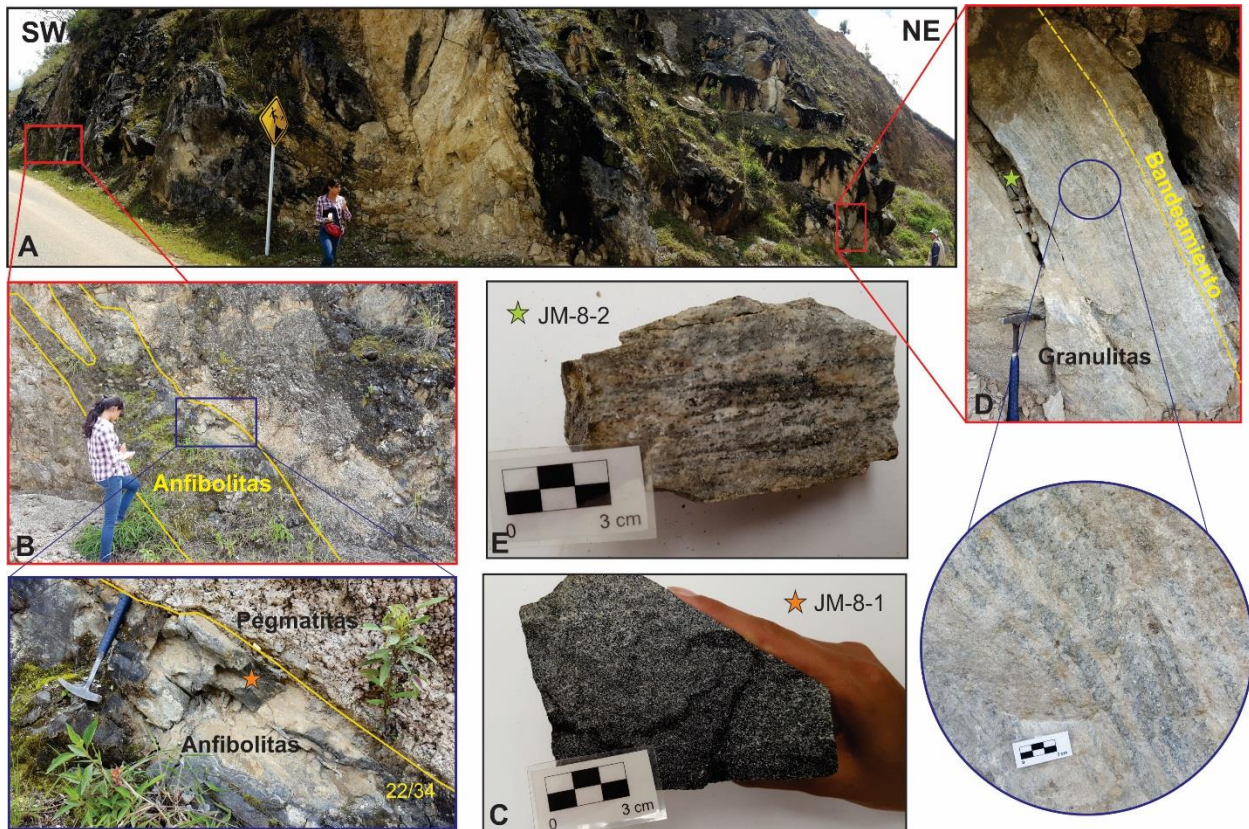


Figura 17. A) Afloramiento de anfibolita (JM-8-1) y granulita (JM-8-2) con intrusiones de pegmatitas y granitoides en la vía Pamplona-Cácota, margen derecho 700 m adelante del desvío a Cécota. B) Acercamiento donde se observa anfibolitas en contacto con pegmatitas. C) Muestra de mano JM-8-1. D) Acercamiento al bandeamiento de granulitas. E) Muestra de mano JM-8-2.

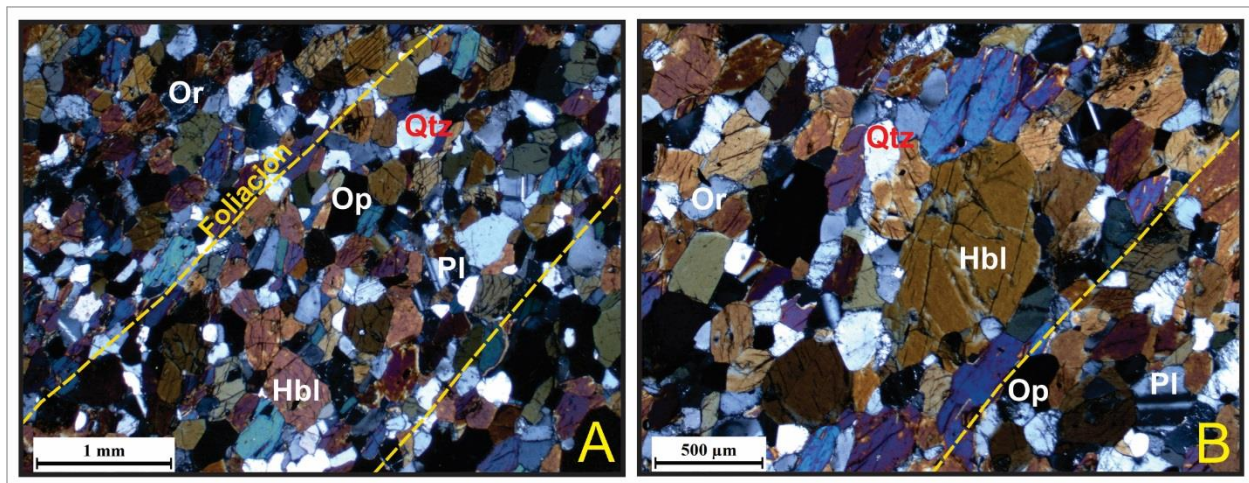


Figura 18. Microfotografías de la anfibolita (JM-8-1). A) Foliación continua definida por la orientación de hornblenda. B) Textura principal granonematoblástica. (A-B) Nícoles cruzados.

4.2.4 Granulita (JM-8-2). Roca color crema intercalado con grises oscuros, alto grado de compactación, tamaño de grano medio a fino (Figura 17) y estructura bandeada caracterizada por una intercalación de bandas de tamaño de grano fino donde predominan piroxenos sobre el cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, wollastonita y calcita, con bandas de tamaño de grano medio donde estos últimos son los que predominan sobre los piroxenos (Figura 19A). Se compone predominantemente de microclina (17%) es xenoblástica con maclado de tartán y altera a sericita hacia los bordes del cristal; ortoclasa (15.5%) es xenoblástica alterando a sericita distribuida uniformemente sobre el mineral; hiperstena (15%) es subidioblástica con inclusiones de cuarzo y ortoclasa, presenta macla polisintética y de Carlsbad; plagioclasa (13%) es xenoblástica con macla polisintética y alteración a sericita; calcita (11%) que se presenta en dos generaciones, la primera es xenoblástica a subidioblástica con exfoliación romboédrica producto de recristalización y la segunda rellena venillas (Figura 19F); augita (10%) es xenoblástica a subidioblástica con colores de interferencia de segundo orden e inclusiones de cuarzo y opacos; wollastonita (5.5%) es subidioblástica alargada, resultado de recristalización por lo que está asociada a calcita (Figura 19D), y esfena (5%) es subidioblástica romboédrica incluida en todos los minerales.

En menor cantidad se presenta enstatita (3%) es prismática alargada con colores de interferencia grises de primer orden; cuarzo (2%) es xenoblástico de bordes irregulares; epidota (1%) es subidioblástica a idioblástica con maclas polisintéticas y zonación (Figura 19C); opacos (1%) y monacita (1%) son xenoblásticos a subidioblásticos incluidos en los demás minerales. Mediante el espectro obtenido por el SEM se analizaron carbonatos que corresponden a calcita, wollastonita con bajo contenido en hierro, epidota y clinopiroxenos identificados como augita (Figura 20).

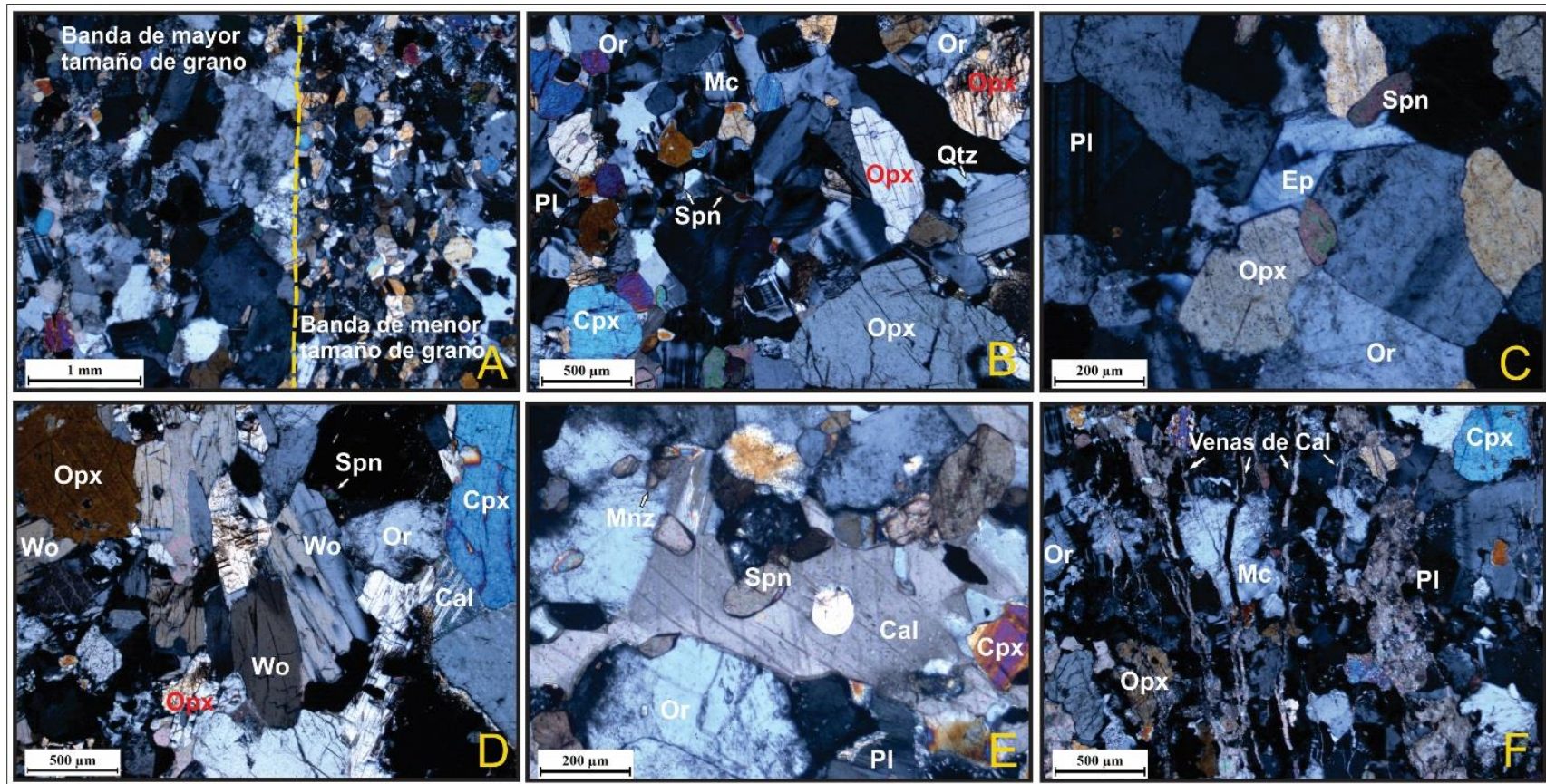
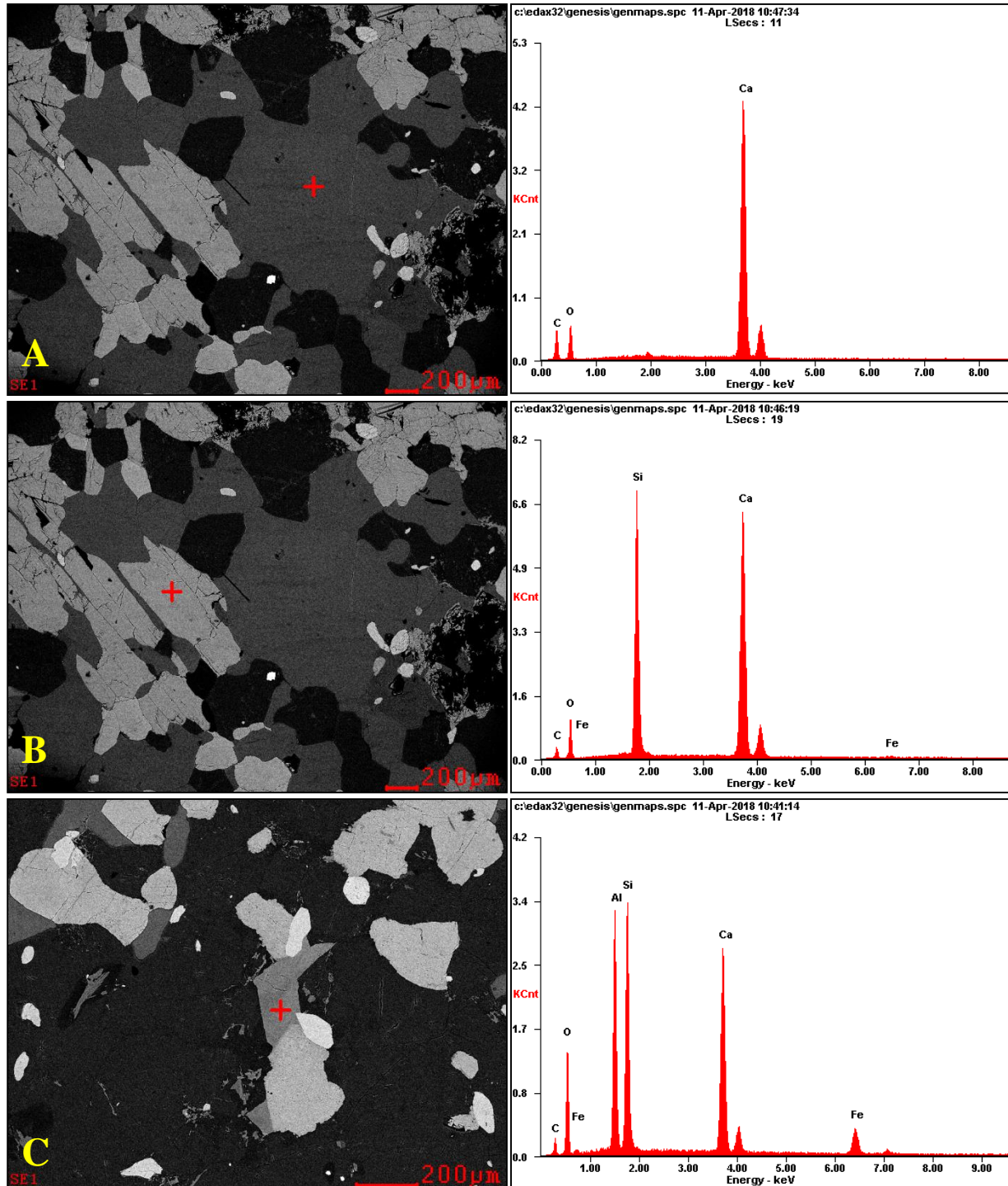


Figura 19. Microfotografías de la granulita (JM-8-2). A) Bandeado definido por variación en el tamaño de grano y porcentaje de minerales. B). Textura nematogranoblástica. C) Epidota zonada. D) Wollastonita recrystalizada. E) Textura poiquiloblástica en calcita recrystalizada. F) Venas de calcita cortando los demás minerales. (A-B-C-D-E-F) Nicoles cruzados.

La roca presenta predominantemente una textura nematogranoblástica (Figura 19B), localmente se evidencian texturas mirmequíticas y poiquiloblástica en cristales de plagioclasa y calcita (Figura 19E). La paragénesis mineral del pico metamórfico es: $Cpx + Opx + Pl + Kfs + Qtz$.



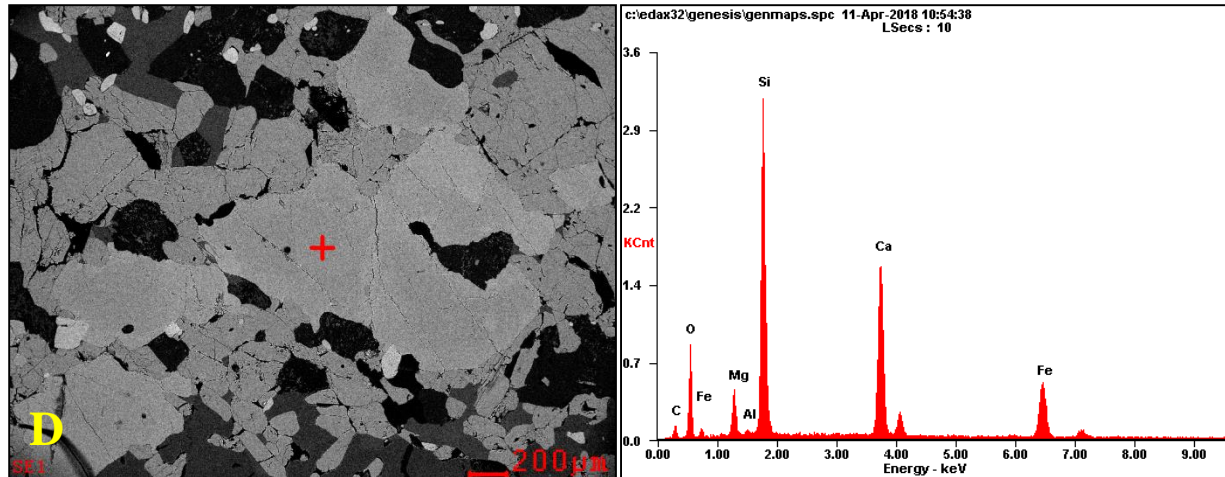


Figura 20. Morfología y espectro de dispersión de minerales analizados al SEM en la muestra JM-8-2. A) Calcita. B) Wollastonita. C) Epidota. D) Augita.

4.2.5 Neis cuarzofeldespático con biotita (JM-11-1). Roca color ocre con algunas tonalidades grises, moderadamente maciza, de estructura néisica y tamaño de grano medio a fino (Figura 21). La foliación desarrollada está definida por la orientación preferencial de minerales hojosos como biotita, agregados sericíticos y cuarzo (Figura 22A). Se infiere que la roca sufrió reducción en el tamaño de grano y metasomatismo debido al grado alto de alteración. Está compuesta en su mayoría por plagioclasa (32%) que ocurre como masas sericíticas; cuarzo (18%) que se presenta en dos generaciones, la primera es xenoblástica alargada en dirección de la foliación y la segunda de origen hidrotermal rellenando venillas (Figura 22B); turmalina (16.3%) que se halla en dos generaciones, la primera es subidioblástica de carácter isométrico, rellena venas donde algunos cristales se orientan desde las paredes al centro (Figura 22B), y la segunda son porfidoblastos subidioblásticos postectónicos (Figura 22C); clorita (11%) son porfidoblastos postectónicos xenoblásticos que corresponden a la última fase; biotita (8%) es hojosa subidioblástica y altera a clorita, y moscovita (7%) es subidioblástica producto de recristalización en porfidoblastos pseudomorfos rodeados por la foliación. En menor cantidad se observan minerales opacos (5%) en dos generaciones, la primera es subidioblástica de color negro siguiendo la dirección de

foliación y la segunda son porfidoblastos de color vino tinto; cordierita (2%) es pseudo-hexagonal y ocurre como resultado de recristalización, altera a pinnita y está asociada a moscovita, y como accesorio monacita (0.7%) es xenoblástica a subidioblástica redondeada incluida en plagioclasa, cuarzo y clorita.



Figura 21. A) Afloramiento de neis cuarzofeldespático con biotita (JM-11-1), ubicado 50 m arriba de la Laguna de Cécota. B) Detalle del afloramiento donde se observa la foliación. C) Muestra de mano JM-11-1.

La textura principal es granolepidoblástica y milonítica (Figura 22A). Localmente se presentan texturas porfidoblástica en matriz granolepidoblástica (Figura 22C y D), y poiquiloblástica en minerales de biotita y clorita (Figura 22F).

La paragénesis del pico metamórfico es $Qtz1 + Pl + Bt$; posteriormente se evidencia $Ms + Crd$ resultado de una recuperación post-deformacional, y por último Chl y $Qtz2 + Tur$ de origen hidrotermal.

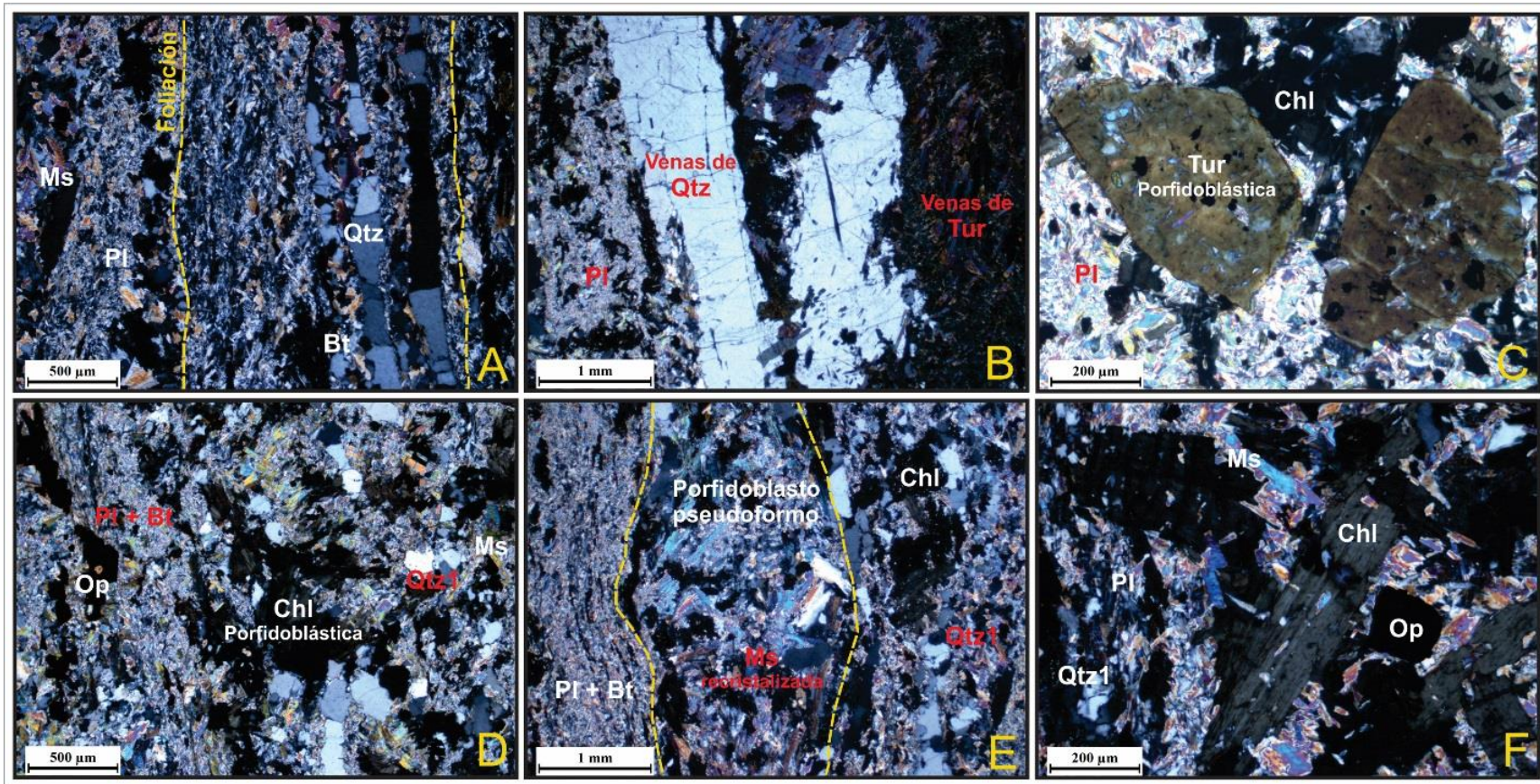


Figura 22. Microfotografías del neis cuarzofeldespático con biotita (JM-11-1). A) Foliación desarrollada por la orientación de masas de sericita, biotita y cuarzo; textura granolepidoblástica y milonítica. B) Venas hidrotermales de cuarzo y turmalina. C) Porfídoblastos postectónicos de turmalina en matriz granolepidoblástica. D) Clorita porfidoblástica postectónica en matriz granolepidoblástica. E) Porfidoblastos pseudomorfos rodeados por la foliación principal y con recristalización de moscovita. F) Textura poiquiloblástica. (A-B-C-D-E-F) Nícoles cruzados.

5. Metamorfismo

5.1 Bloque al este de la Falla Chitagá

Esta área de trabajo fue afectada por un metamorfismo predominantemente regional que dio origen a neises pelíticos, cuarzofeldespáticos y máficos, sobre los cuales se registra también un metamorfismo dinámico asociado a la marcada actividad tectónica de la Falla Chitagá.

5.1.1 Metamorfismo regional. El metamorfismo regional presente en este bloque es de alta temperatura y baja presión, alcanzando condiciones en la parte baja de facies granulita (Figura 23) según la asociación paragenética de $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Crd} + \text{Bt} + \text{Kfs} + \text{Pl} + \text{Sil} + \text{And}$ observada en neises pelíticos. El análisis cualitativo de facies en la grilla petrogenética NaKFMASH (Spear *et al.*, 1999) permite establecer una temperatura de ~ 760 °C y presión de ~ 1.6 Kbar.

Por otro lado, en neises cuarzofeldespáticos la asociación característica es $\text{Crd} + \text{Or} + \text{Qtz} + \text{Pl} + \text{Sil}$ y en los hornbléndicos es de $\text{Hbl} + \text{Qtz} + \text{Pl} + \text{Or} + \text{Bt} + \text{Ep}$. De igual modo, se evidencia un metamorfismo regresivo dado por la sericitización de plagioclasas y feldespatos potásicos, pinnitización y biotitización de cordierita, y cloritización de biotita y hornblenda.

5.1.2 Metamorfismo dinámico. El metamorfismo dinámico presente en el área se encuentra relacionado al trazo de la Falla Chitagá y al conjunto de fallas satélite asociadas a ella. Este se ve reflejado en las estructuras cataclásticas de las rocas como se observa en las muestras JM-1-1 y JM-14-1 afectadas por deformación frágil, al igual que en la presencia a nivel microscópico de pliegues tipo *kink* en cristales de moscovita (Figura 4A), y maclas mecánicas y microplegamientos en cordierita (Figura 4B). Así mismo, la formación de sillimanita fibrolítica, ligeramente posterior al pico metamórfico, se asocia posiblemente a eventos dinámicos con inyección de fluidos.

5.2 Bloque al oeste de la Falla Chitagá

La zona de estudio analizada evidencia un evento metamórfico principal de tipo regional que generó rocas meta-cuarzofeldespáticas (neises cuarzofeldespáticos con biotita) y meta-máficas (anfíbolitas y granulitas), algunas de las cuales se hallan afectadas a su vez por un metamorfismo dinámico relacionado con la actividad tectónica en el área.

5.2.1 Metamorfismo regional. Este metamorfismo se caracteriza por ser de alta temperatura y baja presión alcanzando el pico metamórfico en facies granulita (Figura 23) de acuerdo con la asociación paragenética de $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Pl} + \text{Or} + \text{Qtz} + \text{Mc}$ observada en la granulita máfica. Las condiciones estimadas se ubican en un rango de temperatura de 810 a 860 °C y presión de 5 a 5.5 Kbar según los diagramas ACF para metamorfismo de rocas máficas de Burcher & Grapes (2011).

Para las rocas meta-cuarzofeldespáticas la asociación presente es de $\text{Crd} + \text{Bt} + \text{Qtz} + \text{Or} + \text{Pl} + \text{Ms}$, y para las anfíbolitas de $\text{Hbl} + \text{Or} + \text{Pl} + \text{Qtz}$. De igual forma, se indica un metamorfismo retrogrado evidenciado por la alteración de feldespatos potásicos y plagioclasas a sericita, biotita a clorita, y cordierita a pinnita.

5.2.2 Metamorfismo dinámico. El metamorfismo dinámico desarrollado en este bloque se encuentra igualmente relacionado a la actividad de la Falla Chitagá y sus ramificaciones, lo cual se refleja en el plegamiento de la foliación que se puede observar a escala de afloramiento en la estación JM-6 (Figura 14B), así como en la deformación dúctil de la muestra JM-11-1 que presenta una estructura milonítica (Figura 22A) con reducción de tamaño de grano de menos del 50% del volumen de la roca (protomilonita).

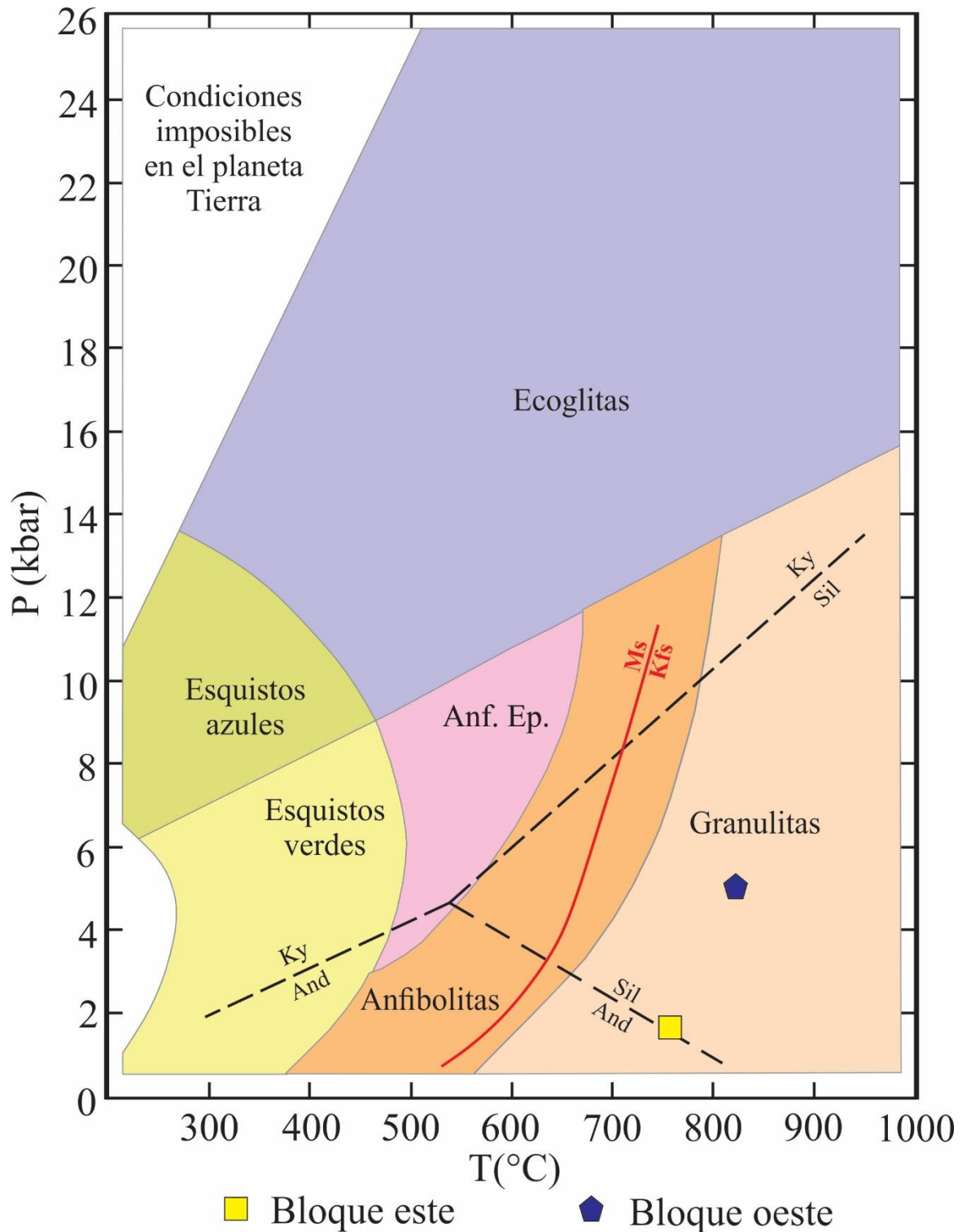


Figura 23. Diagrama de facies metamórficas y campos de estabilidad de los polimorfos de aluminio con la ubicación de las condiciones de metamorfismo para cada bloque. Basado en Spear (1993), Spear *et al.* (1999) y Smulikowsky *et al.* (2003).

6. Discusión de resultados

Los bloques del Neis de Bucaramanga estudiados en este trabajo presentan algunas diferencias litológicas entre sí. El bloque al este de la Falla Chitagá está caracterizado por la ocurrencia de neises biotítico-sillimaníticos con cordierita, andalucita, ortopiroxeno y clinopiroxeno; neises biotíticos con cordierita; neises cuarzofeldespáticos con biotita, sillimanita y cordierita, y neises hornbléndicos con biotita y epidota. El bloque al oeste de la Falla Chitagá presenta neises cuarzofeldespáticos con biotita, cordierita y sillimanita, al igual que el otro bloque; pero además se encuentran anfibolitas y granulitas con clinopiroxeno, ortopiroxeno y minerales posteriores al pico metamórfico como calcita y wollastonita.

El único estudio realizado en esta zona es el de Ward *et al.*, (1973), donde se reportan principalmente neises con cordierita, sillimanita, biotita, cuarzo y feldespatos; y en menor proporción anfibolitas y mármol. En consecuencia, los datos obtenidos en este estudio coinciden de cierta manera con lo anterior a excepción del mármol y la presencia de neises hornbléndicos y granulitas.

Para las otras franjas de la unidad se presentan diversas variedades litológicas. Hacia la parte central del macizo se describen neises migmatíticos biotítico-sillimaníticos, biotíticos con grandes cristales de apatito, sillimaníticos con granate, hornbléndicos con biotita y epidota, y cuarzofeldespáticos con sillimanita, biotita, ocasionalmente anfíbol y granate; anfibolitas con biotita, epidota y clinopiroxeno esporádicamente; anfibolitas granatíferas con apatito, cuarcitas biotíticas y migmatitas (García *et al.* 2005; Urueña y Zuluaga, 2011; Amaya, 2012; Urueña, 2014). Al norte del macizo en la zona Abrego-Ocaña, han sido reportadas granulitas y neises granulíticos por Navarro y Reyes (1983; en Amaya, 2012) y González (2018). La zona occidental se compone

de neises migmatíticos biotítico-sillimaníticos, biotíticos con cristales de apatito, hornbléndicos con biotita, epidota y en ocasiones clinopiroxeno, y cuarzofeldespáticos con biotita, sillimanita, grandes cristales de apatito y ocasionalmente cordierita en el SE de Cepitá; anfibolitas con epidota y biotita ocasionalmente, cuarcitas granatíferas con biotita y migmatitas (Urueña y Zuluaga, 2011; Amaya, 2012; Urueña, 2014).

En este sentido, la franja central y occidental del Neis de Bucaramanga presentan litologías similares, mientras que en la faja oriental analizada en este estudio, la principal característica es la presencia de cordierita en neises pelíticos y cuarzofeldespáticos, en los primeros asociada a andalucita, sillimanita, ortopiroxeno, clinopiroxeno, y en los segundos a biotita y sillimanita. Como se mencionó anteriormente, la cordierita solo había sido reportada en neises cuarzofeldespáticos en el SE de Cepitá.

De igual forma, es importante destacar que las granulitas halladas en el bloque al oeste de la Falla Chitagá están compuestas principalmente por hiperstena, augita, feldespatos potásicos, plagioclasa, esfena, así como calcita y wollastonita post-pico metamórfico, y en menor proporción por enstatita, cuarzo y epidota. Por el contrario, las granulitas encontradas en los alrededores de Ocaña según Navarro y Reyes (1983; en Amaya, 2012), solo presentan piroxenos de tipo hiperstena y augita, plagioclasa, biotita, cuarzo y como accesorio granate. Adicionalmente, González (2018) menciona granulitas máficas y félsicas para esta zona con diópsido, hornblenda y granate ocasionalmente.

En cuanto a las condiciones de metamorfismo de la unidad, para la franja oriental se determinó un metamorfismo regional de alta temperatura y baja presión. El bloque al este de la Falla de Chitagá presenta condiciones de la parte baja de facies granulita (Figura 23) según la asociación paragenética de $Cpx + Opx + Crd + Bt + Kfs + Pl + Sil + And$ en neises pelíticos, mientras que el

bloque oeste presenta condiciones en facies granulita de acuerdo con la paragénesis observada de $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Pl} + \text{Or} + \text{Qtz} + \text{Mc}$ en la granulita máfica.

En el sector central del Macizo de Santander, García y Campos (2000) establecen condiciones de facies anfibolita de la zona sillimanita – biotita – granate con las siguientes asociaciones: $\text{Grt} + \text{Bt} + \text{Ms} + \text{Sil} + \text{Qtz}$ y $\text{Grt} + \text{Bt} + \text{Sil} + \text{Pl} + \text{Qtz}$. García, *et al.* (2005) documentan un metamorfismo Barroviense en el área California-Mutiscua, donde el grado metamórfico aumenta desde la facies anfibolita baja en la parte este hasta la facies anfibolita alta en la parte oeste debido a la migmatización local; la paragénesis en rocas pelíticas es $\text{Grt} + \text{Bt} + \text{Ms} + \text{Sil} + \text{Qtz}$ y $\text{Grt} + \text{Bt} + \text{Sil} + \text{Kfs} + \text{Pl} + \text{Qtz}$; y en rocas máficas es $\text{Hbl} + \text{Pl} + \text{Qtz}$.

Para la parte media-occidental del macizo, Urueña y Zuluaga (2011) entre los municipios de Cepitá, Tona, Vetas y California, determinan la asociación de $\text{Qtz} + \text{Pl} + \text{Bt} + \text{Sil} \pm \text{Kfs} \pm \text{Ms}$, la cual pertenece a facies anfibolita de alta temperatura. Además, Urueña (2014) y Zuluaga *et al.* (2017) establecen que la migmatización de la unidad ocurrió en el Paleozoico Temprano alcanzando facies granulita representada por la asociación mineral de $\text{Grt} \pm \text{Pl} \pm \text{Qtz} \pm \text{Sil} \pm \text{Bt} \pm \text{Amp} \pm \text{Ms}$ en rocas de composición pelítica y cuarzofeldespática; dicha paragénesis evidencia características propias de esta facies, tales como la homogenización del granate localmente por procesos de difusión y el reemplazamiento de anfíboles por clinopiroxenos.

Las diferencias en el grado de metamorfismo en el NB de los bloques este y oeste podría explicarse a partir de dos hipótesis: 1) el bloque oeste haya sido el más hundido. Al respecto, deben adelantarse trabajos de geología estructural para establecer la cinemática de la Falla de Chitagá y su evolución temporal; 2) que se trate de dos bloques con edades y por consiguiente evolución tectono-metamórfica diferente. Igualmente, se ha invocado procesos de migmatización durante el Ordovícico Temprano y Jurásico para explicar el metamorfismo de alta temperatura y baja presión

que afectó rocas del NB. Sin embargo, la coexistencia y persistencia de minerales hidratados como moscovita, hornblenda y biotita con clino y ortopiroxenos, así como las características texturales y microestructurales hacen poco probable involucrar un proceso de migmatización para el metamorfismo en facies granulita aquí reportado. Por tanto, consideramos el pico metamórfico de las rocas del NB aquí estudiadas fue alcanzado en condiciones de parte baja de la facies granulita.

7. Conclusiones

Las rocas del NB en el sector Pamplona-Chitagá presentan diferencias litológicas, estructurales y de condiciones metamórficas para el bloque este y oeste de la Falla de Chitagá.

El bloque al este de la Falla Chitagá está compuesto por rocas meta-pelíticas, meta-cuarzofeldespáticas y meta-máficas. Las rocas meta-pelíticas comprenden neises biotítico-sillimaníticos con asociaciones minerales de Cpx + Opx + Crd + Bt + Kfs + Pl + Sil + And y neises biotíticos con Crd + Bt + Pl + Or + Qtz. Las rocas meta-cuarzofeldespáticas incluyen neises cuarzofeldespáticos con biotita y cordierita caracterizados por asociaciones de Bt + Qtz + Pl + Kfs y Crd + Or + Qtz + Pl + Sil, respectivamente. Las rocas meta-máficas corresponden a neises hornbléndicos con Hbl + Qtz + Pl + Or + Bt + Ep. Las condiciones de metamorfismo de este bloque se ubican en la parte baja de facies granulita con una temperatura de ~760 °C y presión de ~1.6 Kbar según el análisis cualitativo de facies en la grilla petrogenética NaKFMASH (Spear *et al.*, 1999).

El bloque al oeste de la Falla Chitagá presenta rocas meta-cuarzofeldespáticas y meta-máficas. Las primeras consisten en neises cuarzofeldespáticos con biotita distinguidos por una asociación

paragenética de Crd + Bt + Qtz + Or + Pl. Las rocas meta-máficas corresponden a anfibolitas con asociaciones de Hbl + Or + Pl + Qtz y granulitas caracterizadas por una paragénesis de Cpx + Opx + Pl + Or + Qtz + Mc. Las condiciones metamórficas en estas rocas alcanzaron la facies granulita con un rango de temperatura de 810 a 860 °C y presión de 5 a 5.5 Kbar de acuerdo con los diagramas ACF para el metamorfismo de rocas máficas de Burcher & Grapes (2011). Por consiguiente, el bloque oeste registra mayores condiciones que el bloque este, y ambos están siendo afectados por un metamorfismo dinámico sobreimpuesto al metamorfismo regional vinculado a la actividad tectónica de la Falla Chitagá y al conjunto de fallas satélite asociadas a ella.

La temperatura del metamorfismo del Neis de Bucaramanga en el Macizo de Santander se incrementa en sentido oeste – este. Sin embargo, al parecer las rocas del bloque Pamplona-Chitagá podrían registrar una historia tectono-metamórfica diferente por lo que esta conclusión es preliminar.

8. Recomendaciones

Realizar estudios geotermobarométricos para establecer condiciones P-T de metamorfismo del Neis de Bucaramanga en este sector.

Adelantar estudios geocronológicos en estas rocas para definir la edad del protolito y de metamorfismo del Neis de Bucaramanga para esta franja.

Desarrollar estudios termocronológicos que permitan determinar la evolución térmica de la unidad en esta zona.

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 maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Amaya, S. (2016). *Termocronología y geocronología del basamento metamórfico del Macizo de Santander, departamento de Santander* (Tesis doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Burcher, K. and Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Alemania, Berlin: Springer.
- Clavijo, J. (1994). Mapa geológico generalizado del departamento de Norte de Santander, Memoria explicativa. *Informe interno INGEOMINAS*.
- Cordani, U.G., Cardona, A., Jiménez, D.M., Dunyi, L. and 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* llevado a cabo en la Universidad de Concepción, Chile.
- Forero, A. (2010). *Paragénesis minerales de las brechas mineralizadas del sector La Mascota (California, Santander)* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- García, C.A., y Campos, N.O. (2000). Composición química y mineralogía de las biotitas metamórficas del sector central del Macizo de Santander, Colombia. *Boletín de Geología*, 22 (37), 18-27.

- García, C., Rios, C. and Castellanos, O. (2005). Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*, 27 (2), 43-68.
- García, C. (2007). *Manual de prácticas de petrología metamórfica*. Colombia, Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- García, C., Rey, V. y Valencia, V. (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.
- Goldsmith, R., Marvin, R.F. and Mehnert, H.H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 750 (D), 41-49.
- González, D. (2018). Cartografía y análisis estructural de las tectonitas asociadas a la Falla el Carmen, en el segmento El Arado –La Sabana, municipio de Río de Oro, Cesar. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Holdaway, M. (1971). Stability of the andalusite and the aluminum silicate phase diagram. *American Journal of Science*, 271, 97-131.
- Mantilla, L. (2003). *Guía de laboratorios de petrología ígnea*. Colombia, Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- Mantilla, L., Valencia, V., Barra, F., Pinto, J. and Colegial, J. (2009). Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfiríticos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Santander, Colombia). *Boletín de Geología UIS*, 31 (1), 31-43.

- Mantilla, L., Bissig, T., Cottle, J.M. and 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, L., Bissig, T., Valencia, V. and Hart, C. (2013). The magmatic history of the Vetas-California mining district; Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, (45), 235-249.
- Mantilla, C., García, C., y Valencia, V. (2016). Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38(1), 33-50.
- Mantilla, L., y García, C. (2018). Geología y geocronología de las litologías aflorantes en el tramo Mogotes-San Joaquín (sector SW del Macizo de Santander). *Boletín de Geología*, 40(1), 123-144.
- Ordóñez-Carmona, O., Restrepo-Alvarez, J.J. and Pimentel, M.M. (2006). Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* (21), 372–382.
- Restrepo-Pace, P. (1995). *Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, based on new geochronological, geochemical and isotopic data* (Tesis de pregrado). University of Arizona, Tucson, Estados Unidos.
- Royero, J. y Clavijo, J. (2001) Memoria Explicativa del Departamento de Santander. Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000. *Ingeominas*.

- Schmid, R., Fettes, D., Harte, B., Davis, E. and Desmons, J. (2004). A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. *Recommendations*.
- Siivola, J., and Schmid, R. (2007). List of mineral abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. *Recommendations*.
- Smulikowski, W., Desmons, J., Fettes, D., Harte, B., Sassi, F. and Schmid, R. (2003). Types, grade and facies of metamorphism. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. *Recommendations*.
- Spear, F. (1993). *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time path* (monograph). Mineralogical Society of America, Washington, DC.
- Spear, F., Kohn, M. and Cheney, J. (1999). P-T paths from anatexis pelites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, (34), 7-32.
- Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth science Reviews*, (12), 1-33.
- Urueña, C. y Zuluaga, C. (2011). Petrografía del Neis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetás - Santander. *Geología Colombiana, Edición Especial*, 36(1), 37-56.
- Urueña, C. (2014). *Metamorfismo, Exhumación y Termocronología del Neis de Bucaramanga. (Macizo de Santander, Colombia)* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Van der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M. and Mora, A. (2016). Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*, (31), 271-294.

Ward, D.E., Goldsmith, R., Cruz, B.J., Jaramillo, C.L. 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*, 21(1-3).

Zuluaga, C., Amaya, S., Urueña, C. and Bernet, M. (2017). 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*, (274-275), 123-146.