

## Petrografía del Neis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetás - Santander

### Petrography of the Bucaramanga Gneiss near to Cepita, Berlin and Vetás - Santander

---

*Cindy Lizeth Urueña-Suárez<sup>1</sup> & Carlos Augusto Zuluaga<sup>2</sup>*

*Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.*

<sup>1</sup> E-mail: [churuenas@unal.edu.co](mailto:churuenas@unal.edu.co)

<sup>2</sup> E-mail: [cazuluagacas@unal.edu.co](mailto:cazuluagacas@unal.edu.co)

---

---

Cindy Lizeth Urueña-Suárez & Carlos Augusto Zuluaga (2011): Petrografía del Neis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetás - Santander. GEOLOGÍA COLOMBIANA, Edición Especial, 36 No. 1, pp 37-56

Manuscrito recibido: 06 de julio 2011; aceptado: 17 de agosto 2011

---

#### Resumen

El Neis de Bucaramanga es la unidad más antigua del basamento ígneo-metamórfico del Macizo de Santander, el neis aflora en tres grandes fajas (occidental o faja Bucaramanga, faja central y oriental) como una sucesión de neises pelíticos y semipelíticos intercalados con capas delgadas de rocas calcosilicatadas, mármoles, neis hornbléndico y anfibolita. El neis fue estudiado en un área que abarca los alrededores de Cepitá, Bucaramanga, Vetás y el páramo de Berlín con el fin de obtener una caracterización petrográfica detallada de las asociaciones minerales para cada una de las variaciones litológicas.

La unidad consiste en una secuencia formada principalmente por neises cuarzo feldespáticos biotíticos y sillimaníticos con niveles de neises hornbléndicos, cuarcitas y anfibolitas. Las rocas pertenecen a la facies anfibolita de alta temperatura y en general están caracterizadas por la asociación cuarzo, plagioclasa (andesina), biotita, sillimanita, feldespato potásico (ortoclasa) y muscovita. Dentro de la unidad se observan migmatitas en el área de Tona y Vetás, donde se reconocen leucosomas compuestos por cuarzo y plagioclasa y mesosomas formados por neises biotíticos. Hacia los municipios de Vetás y California, el neis está afectado por numerosas intrusiones y una fuerte actividad hidrotermal evidenciada por la presencia de minerales de alteración como clorita, epidota, feldespato alcalino, sericita y pirita.

Análisis cualitativo de facies (grilla petrogenética KFMASH para rocas pelíticas) permite establecer un rango de presión y temperatura para el metamorfismo de 5,5 a 7,2 kbar y de 660 a 750°C de acuerdo a la paragénesis mineral observada (cuarzo, plagioclasa (andesina), biotita, sillimanita, feldespato potásico (ortoclasa) y muscovita).

**Palabras clave:** Colombia, Macizo de Santander, Neis de Bucaramanga, metamorfismo, condiciones P-T, migmatitas.

## Abstract

The Bucaramanga Gneiss is the oldest unit of the Santander Massif's igneous-metamorphic basement. Three observed belts (western or Bucaramanga belt, central and eastern belt) show a succession of pelitic and semi-pelitic gneisses interbedded with thin layers of calc-silicate rocks, marbles, hornblende gneisses and amphibolites. Petrographic descriptions of the Bucaramanga Gneiss focused in the identification of equilibrium mineral assemblages for all lithologic variations in a study area including the surroundings of Cepitá, Bucaramanga, Vetás and Páramo de Berlín.

The Bucaramanga Gneiss consists of quartzfeldspathic, biotite- and sillimanite- gneisses locally with hornblende gneisses, quartzites and amphibolites. The rocks were metamorphosed at the high temperature limit of the amphibolite facies, its main assemblage is quartz, plagioclase (andesine), biotite, sillimanite, potassium feldspar (orthoclase) and muscovite. Migmatites were identified in the Tona - Vetás area. There, biotite gneiss mesosomes contain quartz – plagioclase leucosomes. In Vetás and California the gneisses are affected by intrusive bodies and strong hydrothermal activity that has generated alteration minerals as chlorite, epidote, alkali feldspar, sericite and pyrite.

Qualitative facies analysis (KFMASH petrogenetic grid for pelites) indicates a metamorphic pressure and temperature window of 5,5 to 7,2 kbar and 660 to 750°C according to the mineral assemblage quartz, plagioclase (andesine), biotite, sillimanite, potassium feldspar (orthoclase) and muscovite.

**Key words:** Colombia, Santander Massif, Bucaramanga Gneiss, metamorphism, P-T conditions, migmatites.

## INTRODUCCIÓN

El estudio petrográfico en rocas metamórficas permite entender la compleja historia resultante de los procesos físico-químicos que afectan las rocas cuando son sometidas a cambios de presión y temperatura; para ello, el análisis petrográfico debe de ser detallado y partir de la relación fábrica-asociación mineral, ya que es el paso más importante para posteriores interpretaciones petrológicas. Esto permite establecer una correlación de la distribución de cada una de las litologías encontradas en campo con rasgos tectónicos regionales. El análisis de microestructuras también permite obtener información sobre los cambios sufridos por los minerales durante la trayectoria del metamorfismo.

El Neis de Bucaramanga al ser la unidad metamórfica más antigua del Macizo de Santander se encuentra afectada por todos los eventos tectónicos y termales que han afectado el macizo, el efecto de varios de estos eventos potencialmente pueden aún observarse en las microestructuras de la unidad. Esta unidad fue reconocida

inicialmente por Julivert (1951) y Goldsmith et al. (1971) y luego definida por Ward et al. (1973). Con el objetivo de conocer más acerca de la génesis y evolución de los neises y migmatitas del Neis de Bucaramanga se desarrolla este trabajo que pretende ser un aporte al conocimiento de la evolución tectono-metamórfica del Macizo de Santander.

## MARCO GEOLÓGICO

Estructuralmente el Macizo de Santander es un bloque levantado limitado al oeste por la falla Bucaramanga-Santa Marta y al este por el sistema de fallas Pamplona-Cubogón-Mercedes (García et al. 2005). La Falla Bucaramanga-Santa Marta es considerada un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado de 100 a 110 km (Ward et al, 1973). Según Julivert (1961b), tiene una componente vertical importante, que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento por flexión de la falla.

Ward et al. (1973) definieron el Neis de Bucaramanga como una secuencia estratificada de rocas metasedimentarias de alto grado metamórfico, que consisten principalmente en paragneis pelítico, semi-pelítico y arenáceo, esquisto y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita, localmente migmatizado. Se encuentra aflorando en tres fajas: la más occidental (faja Bucaramanga) al este de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, la central que comprende el área de Berlín y California-Cachirí y la oriental que aparece cerca de Chitagá al sur de Pamplona. En la faja Bucaramanga, se observan meta-pelitas, semi-pelitas y meta-areniscas, con presencia restringida de neis hornbléndico y anfibolita, en la faja Central aflora una secuencia de neis arenáceo, neis pelítico y neis hornbléndico, en la faja Oriental predominan neises con cordierita, sillimanita, biotita, cuarzo y feldespatos inyectados por pegmatitas muscovíticas.

Dentro de las litologías predominantes en el Neis de Bucaramanga según Navarro & Reyes (1983) se encuentran: neis cuarzo feldespático, de grano medio a grueso, compuesto por cuarzo (40%), feldespato potásico (35%), plagioclasa de tipo oligoclasa (10%) y en algunas ocasiones anfíbol (8%), cuando se encuentra biotita > 20% se clasifica como neis cuarzo feldespático biotítico; neis anfibólico, el cual presenta bandas de color verde oscuro alternado con bandas blancas de cuarzo y feldespato potásico y/o plagioclasa y está compuesto por hornblenda (40%), cuarzo (10%), plagioclasa (12%) y feldespato potásico (30%); y anfibolita, que se caracteriza por un alto contenido de hornblenda (70%) de color verde a amarillo, grandes cristales de granate (12%), plagioclasa (2%) y piroxeno en menor cantidad.

Ward et al. (1973) consideran que las rocas del Neis de Bucaramanga fueron metamorfoseadas dentro de la isograda de sillimanita en facies anfibolita alta y reportan la ausencia de cianita y granate. Según este autor, las asociaciones minerales indican bajas presiones y altas temperaturas (incluyendo temperaturas de anatexia para la formación de migmatitas), pero los altos porcentajes de biotita observados y la presencia local de muscovita indican que no hay facies granulita en gran parte de la unidad. Sin embargo, García et al. (2005) proponen que el metamorfismo en general para el Macizo de Santander ocurre bajo condiciones de alta temperatura y media presión.

El Neis de Bucaramanga está en contacto con esquistos de bajo y medio grado de metamorfismo (Fm. Silgará), aunque este contacto no está bien definido, parece seguir la isograda de la sillimanita (RESTREPO-PACE et al. 1997). Entre la Formación Silgará y el Neis de Bucaramanga existe una diferencia litológica general, la Formación Silgará tiende a ser más cuarcítica incluyendo pizarras, filitas y esquistos de afinidad calcárea y pelítica con estratificación delgada, mientras que el Neis de Bucaramanga es de estratificación más gruesa y consiste de rocas néisicas con altos contenidos de biotita y hornblenda. Sin embargo, entre las dos formaciones hay gran semejanza en los tipos de roca, particularmente en lo que puede ser la parte inferior de Silgará; puesto que sus rocas metasedimentarias pueden seguirse a lo largo del rumbo en el Neis sin ninguna ruptura visible (Ward et al. 1973). Según Arenas (2004) las relaciones estratigráficas entre las dos unidades y las evidencias geocronológicas e isotópicas permiten interpretar que el neis ya se encontraba “adosado” al borde noroccidental de Gondwana al final del Proterozoico y por lo tanto las dos unidades no corresponden a un mismo evento metamórfico.

Adicionalmente el Neis de Bucaramanga se encuentra afectado por varios intrusivos de edad Triásico-Jurásico (Ward et al. 1973; Dörr et al. 1995) dentro de los cuales se encuentran la Cuarzomonzonita de Mogotes, la Cuarzomonzonita de Santa Barbará, el Plutón de La Corcova y otros en la zona de Vetas definidos como intrusivos Jura-Triásicos. Estos cuerpos tienen composiciones similares, con feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo con variación en los contenidos de muscovita, biotita y hornblenda (Royero & Vargas 2001). Quizá la mayor variación se presenta en los cuerpos del área de Vetas donde aumenta el contenido de cuarzo y disminuye el feldespato potásico y en diques de composición andesítica en el sector de Cepitá (muestra CIII 09-NB-02CU). También se observan cambios texturales ya que se observan rocas porfiríticas y faneríticas, equi e inequigranulares (v. gr., intrusivo de Santa Bárbara). Generalmente al metamorfismo del Neis de Bucaramanga se le asigna un rango de edad entre el Precámbrico y el Cámbrico, este rango de edad está de acuerdo con las edades de  $680 \pm 140$  M.a. reportadas por Goldsmith et al. (1971) con base en Rb – Sr en hornblenda de un neis biotítico de la zona de Berlín – Vetas, de  $945 \pm 40$  M.a. reportadas por Ward et al. (1973) con base en K – Ar en hornblenda

de un neis hornbléndico proveniente de las cercanías a Ocaña, de ~800 a ~850 M.a reportadas por Restrepo-Pace et al. (1997) con base en  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en hornblenda de un neis hornbléndico de una muestra tomada en la misma localidad del neis hornbléndico reportado por Ward et al. (1973), y de  $864 \pm 66$  M.a. de acuerdo a SHRIMP U/Pb en sobrecrecimientos metamórficos en circones (Cordani et al. 2005). La edad del protolito está restringida al rango ~ 860 – 1040 M.a. de acuerdo a edades SHRIMP U/Pb en circones reportadas por Cordani et al. (2005).

La historia evolutiva para el Neis de Bucaramanga y en general para el Macizo de Santander es aún tema de debate. Forero-Suárez (1990) plantea que el basamento metamórfico pre-Devónico temprano del flanco oriental de la Cordillera Central y de la Cordillera Oriental corresponden a un terreno alóctono que perteneció a Norte América y que se acrecionó al borde continental de Sur América durante el Silúrico – Devónico Temprano, pero éste modelo no explica el mecanismo y edad del emplazamiento de las rocas Precámbricas (generalmente de alto grado de metamorfismo) en Colombia. Cardona et al. (2009) se refieren a las rocas del basamento que afloran a lo largo de las cordilleras Central y Oriental como un terreno para-autóctono, que permanecía próximo al margen del cratón Amazónico. Sin embargo, muchos autores asocian este basamento al evento tectono-metamórfico Nickeriense – Orinoquiense, el cual tuvo lugar a finales del Proterozoico (alrededor de 1.1 G.a.) y que está asociado con la colisión de la parte nororiental de Norteamérica y el occidente de Suramérica (Restrepo-Pace et al. 1997; Toussaint 1993). Para Ramos (2010), dicho evento de acreción y metamorfismo corresponde a una compleja transferencia de terrenos entre Laurentia y Gondwana.

## METODOLOGÍA

El área de trabajo está ubicada en la parte media-oriental del Macizo de Santander entre los municipios de Cepitá, Tona, Vetas y California ubicados en los cuadrángulos H12 y H13 y la plancha 136 de Ingeominas. Se establecieron tres zonas que agrupan los lugares donde se recolectaron las muestras comprendidas entre las coordenadas 1302000 N – 1233600 N y 1105000 E – 1135500 E (origen Bogotá, datum Bogotá, elipsoide internacional 1924. Figura 1).

El desarrollo de este estudio estuvo apoyado en un trabajo de campo durante el cual se realizó reconocimiento geológico, cartografía geológica en la zona de Cepitá, toma de datos estructurales y muestreo de las variedades litológicas en todas las localidades de estudio. De un total de 40 muestras recolectadas en campo se seleccionaron 20 para análisis petrográfico (determinación de asociaciones minerales y composición modal, texturas y microestructuras y tipo de alteración). El análisis cualitativo de facies se hizo utilizando grillas petrogenéticas para metapelitas en el sistema KFMASH definido para altas temperaturas (Holland & Powell 1990; White 2008), con este análisis se estimaron los rangos para las condiciones de presión y temperatura bajo las cuales ocurrió el metamorfismo.

La descripción de las rocas migmatíticas se hace aquí de acuerdo con la definición de la subcomisión para la sistemática de rocas metamórficas del IUGS (Fettes & Desmonds 2007) donde se consideran las migmatitas como una roca silícea compuesta, heterogénea a escala meso- y megascópica que consiste típicamente en partes oscuras y claras. Las partes oscuras son usualmente de apariencia metamórfica mientras que las partes claras son de apariencia plutónica. Aunque algunos autores (v. gr., Sawyer 2008) restringen el término a rocas de medio a alto grado de metamorfismo afectadas por fusión parcial, en esta contribución se considera la descripción de las migmatitas del IUGS sin tomar en cuenta los procesos genéticos involucrados en su formación. Las abreviaciones minerales se toman de Whitney & Evans (2010).

## Petrografía

Las rocas del Neis de Bucaramanga corresponden a rocas meta-sedimentarias de composición cuarzo feldespática pelítica y básica ubicadas dentro de la facies anfíbolita de alta temperatura. Consiste en una secuencia formada principalmente por neises cuarzo feldespáticos biotíticos y sillimaníticos e intercalaciones de cuarcita, anfíbolita y neis anfibólico. Frecuentemente los neises presentan estructuras de migmatización donde se reconocen claramente leucosomas y mesosomas.

Las rocas se encuentran afectadas localmente por procesos cataclásticos asociados a movimientos del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta y por eventos térmicos relacionados a los numerosos cuerpos

intrusivos en el área de Vetás – California que además ha originado mineralizaciones de Au con edades de  $8.4 \pm 0.2$  y  $9.0 \pm 0.2$  Ma (Mioceno Tardío - U-Pb en circones de rocas porfíricas; Mantilla et al. 2009).

### **Cuarcitas**

Ocurren en varios lugares dentro del neis, con una distribución irregular y de poco espesor; en el sector Vetás, hacia las minas Reina de Oro y Salvación, se presentan como una variación litológica dentro de los neises biotíticos. Consisten en rocas masivas, bien cristalizadas, de color gris, generalmente están compuestas por cuarzo en cantidades mayores al 80%, biotita cerca del 10% y ocasionalmente se encuentra granate (en el área de Cepitá, Faja Bucaramanga) y como mineral accesorio hay pirita rellenando fracturas (figura 2). El considerable contenido de biotita permite clasificarlas como cuarcitas biotíticas que fueron generadas a partir de rocas con una alta madurez composicional, posiblemente cuarzo arenitas. Cerca a las zonas mineralizadas las cuarcitas presentan alteración de tipo hidrotermal, evidenciada por la presencia de minerales como feldespato, clorita y epidota.

### **Neis Cuarzo-Feldespático**

Es el tipo de roca más común, se encuentran aflorando en gran parte del área estudiada, tanto en Cepitá como en Vetás. Se caracteriza por altos contenidos de cuarzo y plagioclasa, algunas veces acompañados de feldespato potásico; se pueden diferenciar los neises que tienen biotita y sillimanita o solo biotita en la paragénesis, la muscovita puede estar ausente o en cantidades menores al 10%.

### **Neis Migmatítico Biotítico**

Generalmente presenta bandeamiento composicional y estructuras migmatíticas por diferenciación de leucosomas y mesosomas. La asociación mineral de equilibrio consta de cuarzo + plagioclasa + biotita  $\pm$  muscovita; dentro de los minerales accesorios se encuentra un significativo contenido de apatito, pues se desarrollan grandes cristales  $>2$  mm, otros accesorios son circón, rutilo, pirita, galena y magnetita (figura 3). La composición modal de este tipo de rocas está representada por 40-50% de cuarzo, 30-40% de plagioclasa y 15-20% de biotita.

El desarrollo de grandes cristales de apatito tiene implicaciones directas en la definición del protolito para

estos neises; si bien, los altos contenidos de cuarzo indican un protolito sedimentario la aparición de apatito sugiere que eran rocas ricas en fosfatos con una alta influencia marina y se podrían definir como arenitas feldespáticas fosfáticas con bajos contenidos de aluminio; la Figura 3 (c) corresponde a imágenes obtenidas con SEM de cristales de apatito idiomórficos con caras cristalinas bien desarrolladas, fracturados pero sin evidencias de sobrecrecimiento.

### **Neis Migmatítico Biotítico – Sillimanítico**

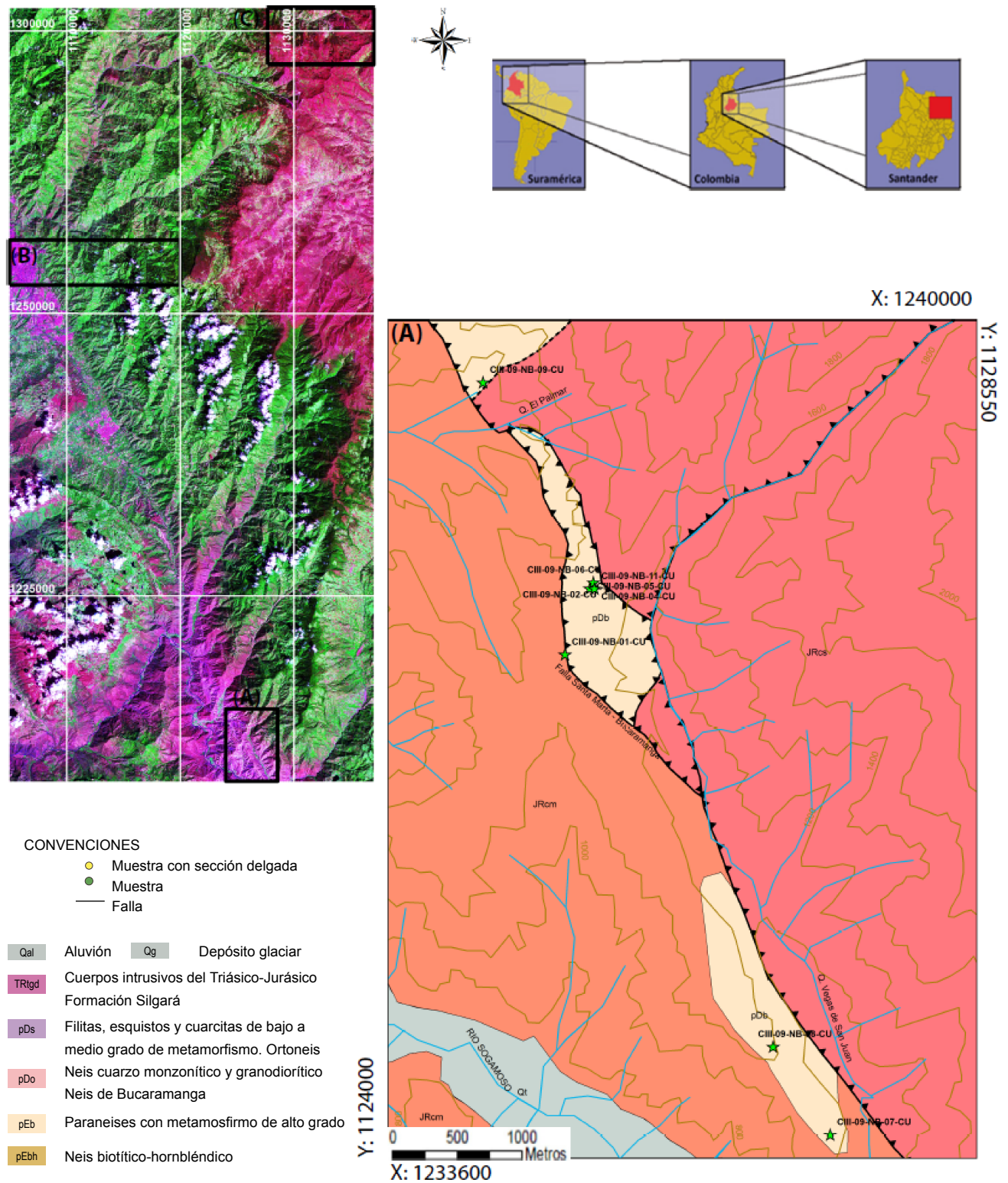
Estos neises comprenden gran parte del Neis de Bucaramanga y tienen una gran extensión, ya que se encuentran tanto en la faja Bucaramanga a lo largo de la falla del mismo nombre como en la faja Central. Algunos de estos neises presentan estructuras migmatíticas a pequeña escala; los leucosomas son una asociación de cuarzo + plagioclasa de tipo andesina con cristales ligeramente más gruesos con respecto a los del mesosoma; el mesosoma está compuesto por cuarzo + plagioclasa ( $An_{44-52}$ ) + sillimanita (prismática y fibrolita) + biotita  $\pm$  feldespato potásico. Dentro de las microestructuras se reconocen intercrecimientos simplectíticos en leucosomas de cuarzo-plagioclasa en el borde y hacia el centro de los cristales, exsolución en feldespatos y crenulación leve.

La composición modal en estas rocas es de 50% cuarzo (principalmente en leucosomas), 20-25% plagioclasa, 10-15% biotita, cerca del 10% sillimanita y 5-10% feldespato potásico o 25% cuando la cantidad de plagioclasa es subordinada (figura 4).

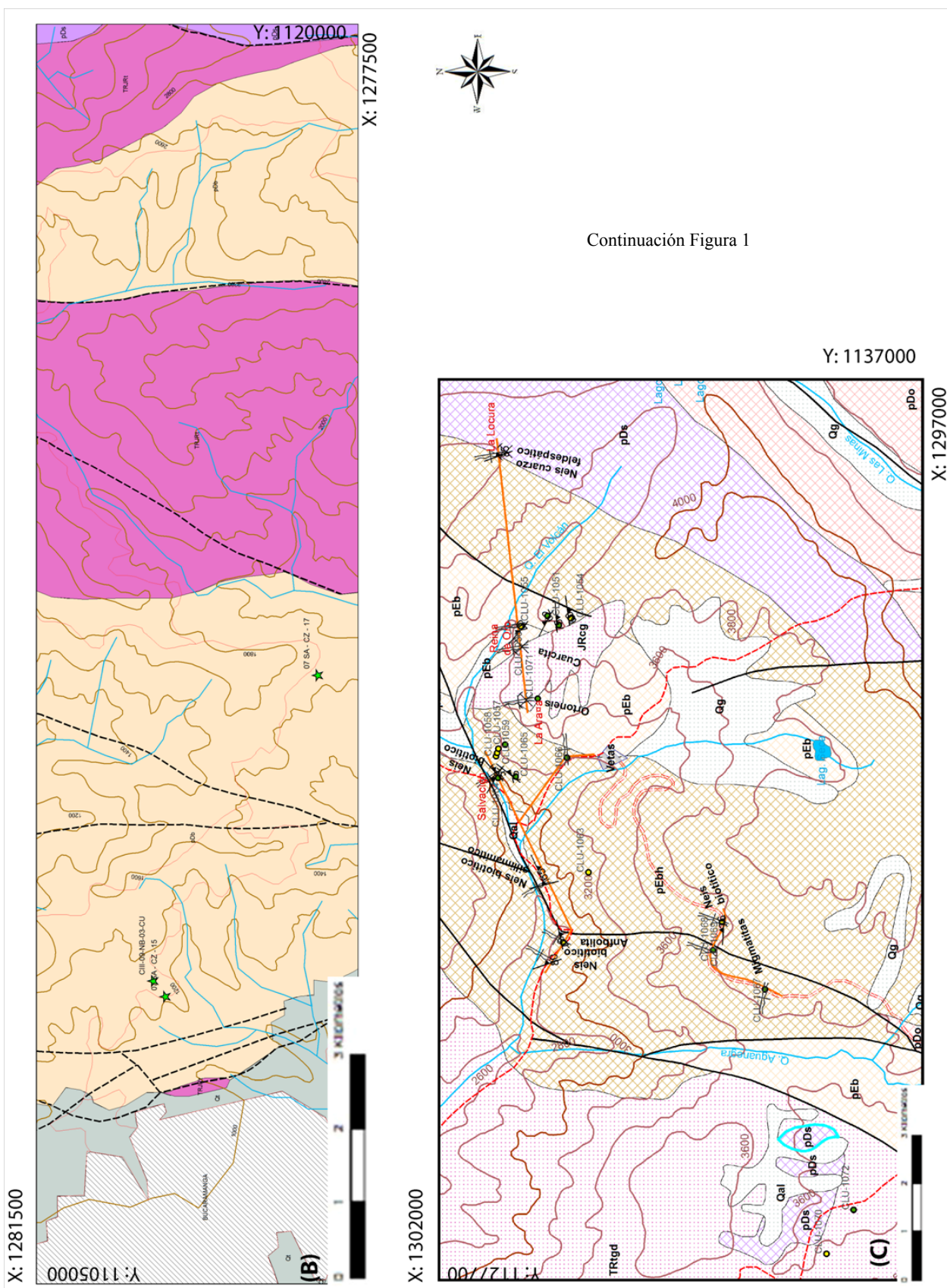
Como minerales accesorios se encuentra predominantemente apatito con cantidades subordinadas de circón, rutilo, pirita, galena y magnetita. Los principales minerales de alteración son epidota, clorita y sericita – muscovita y sílice de introducción como producto del metamorfismo retrógrado y la actividad hidrotermal.

La asociación mineral de equilibrio permite ubicar estas rocas en facies anfibolita alta. A pesar de las microestructuras encontradas en las plagioclasas, debido al alto contenido de cuarzo y el destacado desarrollo de apatito se considera un protolito sedimentario como arcillolitas arenosas feldespáticas y fosfáticas.

Localmente estos neises están fuertemente afectados por procesos tectónicos que son reconocidos a

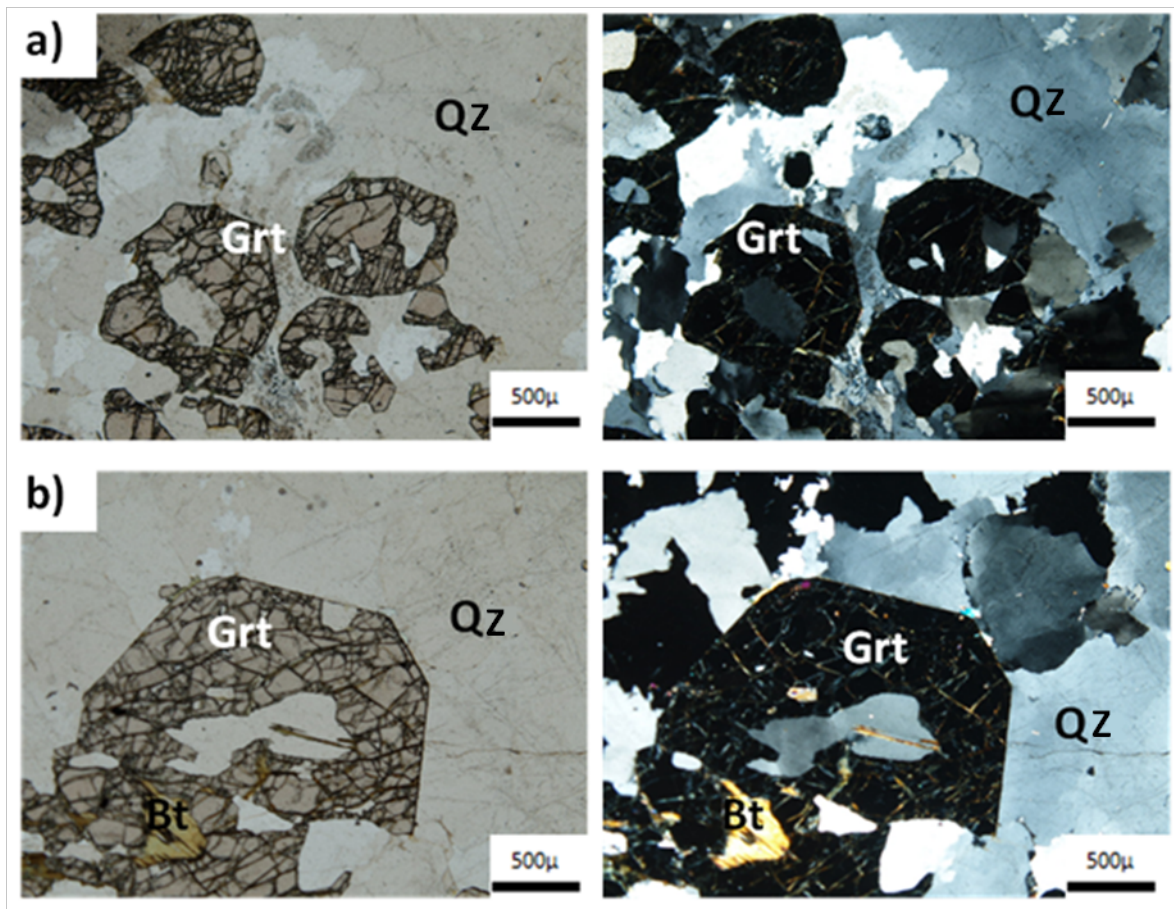


**Figura 1.** Mapa de localización áreas de estudio Macizo de Santander (Imagen satelital Landsat) y mapas geológicos de (A) Zona Cepitá, (B) Zona Bucaramanga y (C) Zona Vetas. Mapas geológicos tomados y modificados de Royero & Vargas (1999); Vargas et al. (1976) y Ward et al. (1973, 1977).



**Tabla 1.** Petrografía y mineralogía de las muestras analizadas. [Qz: cuarzo; Pl: plagioclasa; Kfs: Feldespato potásico; Sil: sillimanita; Grt: granate; Hbl: hornblenda; Bt: biotita; Ms: muscovita; Chl: clorita; Ser: sericita; Ep: epidota; Ap: apatito; Spn: esfena; Zrn: zircón; Rt: rutilo; Mag: magnetita; Ilm: ilmenita; Sp: esfalerita; Py: piritita; Gn: galena; ox Fe: óxidos de hierro]

Sección	Localidad	Clasificación	Mineralogía			
			Formadores de roca/Paragénesis	Accesorios	Alteración	Introducción
CIII 09–NB–01CU	Cepitá Q. el Palmar	Xenolito de Neis hornbléndico	Pl + Bt + Hb + Kfs + Qz + Spn + Ms	Ilm + Zrn + Mag	Ser + Caolin	
CIII 09–NB–02CU	Cepitá, el Barro	Andesita (dique)	Pl, Bt, Qz, Chl	Ilm + Rt	Chl	
CIII 09–NB–03CU	Piedecuesta	Neis cuarzo-feldespático biotítico Silimanítico	Qz + Pl + Ms + Kfs + Bt + Sil	Ilm + Zrn + Mag	Chl	
CIII 09–NB–04CU	Cepitá, el Barro	Neis biotítico cuarzo-feldespático	Qz + Pl + Bt + Kfs	Rt + Zrn + ox Fe	Ser	Qz
CIII 09–NB–05CU	Cepitá, el Barro	Neis biotítico cuarzo-feldespático	Qz + Pl + Bt + Kfs	Zrn + Rt	Ser + Ep + Chl	Qz
CIII 09–NB–06CU	Cepitá, el Barro	Neis cuarzo-feldespático	Qz + Kfs + Pl + Ms + Bt + Ap	Ilm + Mag + Zrn + Sp	Ser	Qz
CIII 09–NB–07CU	Cepitá – San Miguel	Neis Silimanítico	Pl + Sil + Ms + Kfs + Qz + Bt	ox Fe	Ser + Chl	
CIII 09–NB–08CU	Cepitá – San Miguel	Neis cuarzo-feldespático	Kfs + Qz + Pl + Bt	Zrn + ox Fe	Ser + Chl	
CIII 09–NB–09CU	Cepitá Q. el Palmar	Neis cuarzo-feldespático biotítico	Qz + Kfs + Pl + Bt + Ap + Ms	Zrn	Ser + Chl	Qz
CIII 09–NB–10CU	Cepitá – San Miguel	Neis Cuarzo-feldespático micáceo	Qz + Bt + Pl + Ms + Sil	Mag + Rt	Chl	
07 SA CZ – 15	Vía Bucaramanga – Berlín	Neis Silimanítico	Qz + Sil + Bt + Ms + Kfs	Py + Mag + Ilm	Ser + Chl	
07 SA CZ – 17	Vía Bucaramanga – Berlín	Neis Silimanítico biotítico cuarzo-feldespático	Pl + Qz + Ms + Sil + Bt + Ap	Zrn + Ilm	Ser + Chl + Kfs	
CLU – 1052	Vetas, Reina de oro	Neis biotítico cuarzo-feldespático	Pl + Qz + Bt + Ap	Zrn + Ilm	Ser + Chl	Ep + Qz
CLU – 1056	Vetas, Reina de oro, Tajo viejo	Neis Silimanítico biotítico	Qz + Sil + Bt + Ms	Rt + Zrn	Chl	Ep
CLU – 1059	Vetas, mina Salvación	Neis cuarzo-feldespático biotítico	Qz + Pl + Bt	Py + Sp + Zrn	Ser + Chl	
CLU – 1060	Vetas, mina Salvación	Neis cuarzo-feldespático	Qz + Pl + Bt + Kfs	ox Fe	Ser + Chl	Ep
CLU – 1062	Vetas – Ortegón	Anfibolita	Pl + Hb	Rt	Ser + Chl	Ep + Qz
CLU – 1063	Vetas – Borrero	Neis cuarzo-feldespático biotítico	Bt + Qz + Pl + Sil	Py + Gn + Cpy	Ms + Ser	Ep + Qz
CLU – 1069	Vetas – Mortiño	Neis cuarzo-feldespático	Pl + Qz + Kfs + Bt	Mag + Rt + Ilm + Sp	Ser + Chl	Ep + Qz



**Figura 2.** Cuarzita. a) Cuarzita con porfiroblastos de granate, fotografías en PPL y XPL.  
b) Porfiroblasto de granate asociado a biotita, fotografías en PPL y XPL; (muestra del área de Cepitá).

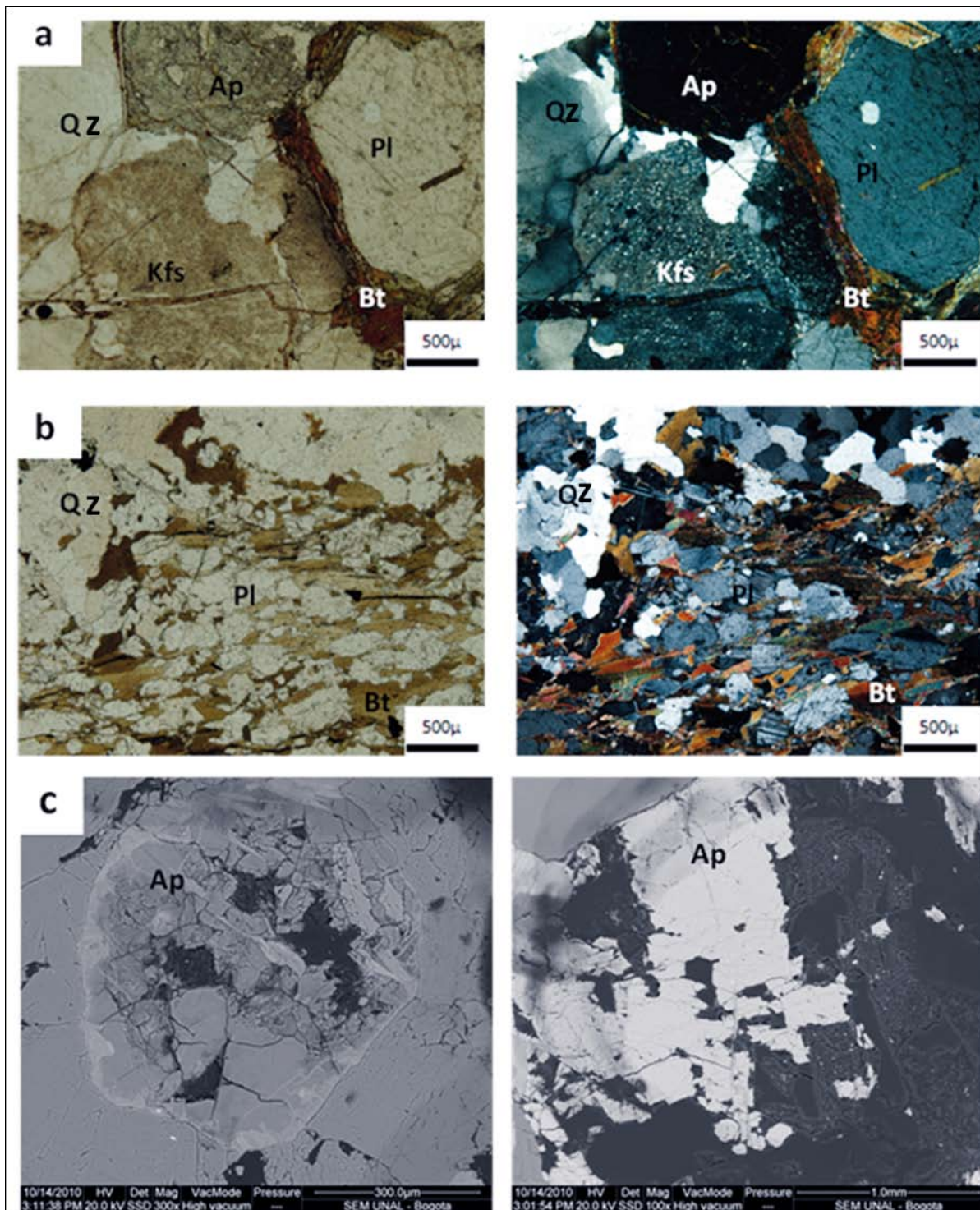
escala microscópica (figura 5), por lo que podrían denominarse neises miloníticos, aunque prevalece la estructura néisica. En zonas de cizalla se observan porfiroclastos de cuarzo y feldespato, recristalización intercrystalina de cuarzo con textura mortero, maclas de las plagioclasas deformadas, dobladas y dislocadas y menos comúnmente doblamiento “kink” en los cristales de biotita y muscovita.

### Neis Hornbléndico

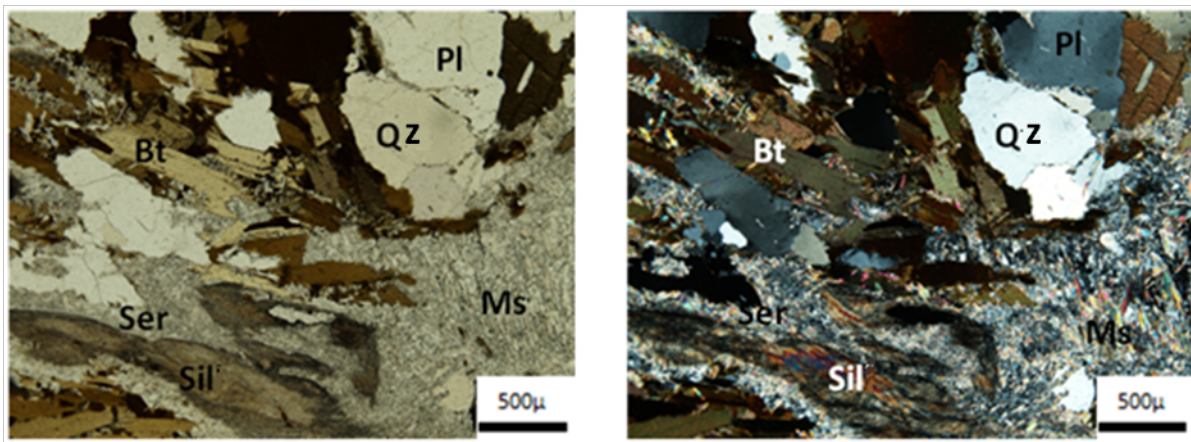
Se encuentran principalmente al este del cuerpo intrusivo de La Corcova y ocasionalmente en el área de Cepitá, se pueden hallar xenolitos de neis hornbléndico asociados a la Cuarzomonzonita de Mogotes, la cual está en contacto fallado por la Falla Bucaramanga-Santa Marta, con el neis; sin embargo, en la roca metamórfica no se reconocen minerales formados por procesos de metamorfismo

de contacto sobre impuesto, adicionalmente varios de los contactos entre la roca metamórfica y los cuerpos intrusivos son fallados. Estos neises se caracterizan por presentar texturas microscópicas granoblásticas, con cristales de tamaño grueso y formas muy definidas, apariencia de roca ígnea a escala microscópica y foliación evidente solo a escala macroscópica.

Mineralógicamente se encuentran constituidos por plagioclasa, hornblenda, epidota, biotita y cuarzo y pequeños cristales de apatito, rutilo, esfena y magnetita como minerales accesorios (figura 6), la plagioclasa  $An_{32-36}$  desarrolla macla de tipo albita y tiene un moderado grado de sericitización e inclusiones redondeadas de cuarzo, las cuales se consideran fueron generadas durante el proceso de fusión parcial y no indican un origen magmático puesto que las relaciones de campo y las características petrográficas sugieren



**Figura 3.** Neises biotíticos. a) Neis cuarzo feldespático biotítico con apatito (muestra CIII09-NB-09CU, del área de Cepitá), fotografías en PPL y XPL. b) Neis biotítico con cuarzo y plagioclasa, biotitas alineadas (muestra CLU-1059, del área de Vetas), fotografías en PPL y XPL. c) Apatito idiomórfico en Neis biotítico (Izq. muestra 07SA-CZ-17, del área de Bucaramanga. Der. muestra CIII09-NB-09CU, del área de Cepitá), fotografías SEM.



**Figura 4.** Neis sillimanítico-biotítico con cuarzo y plagioclasa. La sillimanita se encuentra alterada a sericita-muscovita en los bordes (muestra CLU-1063, del área de Vetas), fotografías en PPL y XPL.

afinidad metasedimentaria. La asociación mineral de equilibrio está definida por más del 35% plagioclasa, 20-25% de cuarzo, cerca del 20% de hornblenda, 10% de epidota y menos del 10% de biotita.

#### Anfibolita

Los niveles anfibólicos dentro del Neis de Bucaramanga se encuentran intercalados con los neises biotíticos, en el área de Vetas y el páramo de Berlín, aunque no son muy abundantes en las zonas cartografiadas. Las anfibolitas desarrollan una estructura neisosa, pero no se observa lineación mineral, y en ocasiones hay variación del tamaño de los cristales de 0,4 a ~2,5 mm. Están compuestas básicamente por hornblenda y plagioclasa, las plagioclasas forman mosaicos granoblásticos y los anfíboles se ubican entre éstas (figura 7), los minerales de alteración son clorita, epidota y ocasionalmente sericita, en zonas con influencia hidrotermal se encuentran venas rellenas de sílice.

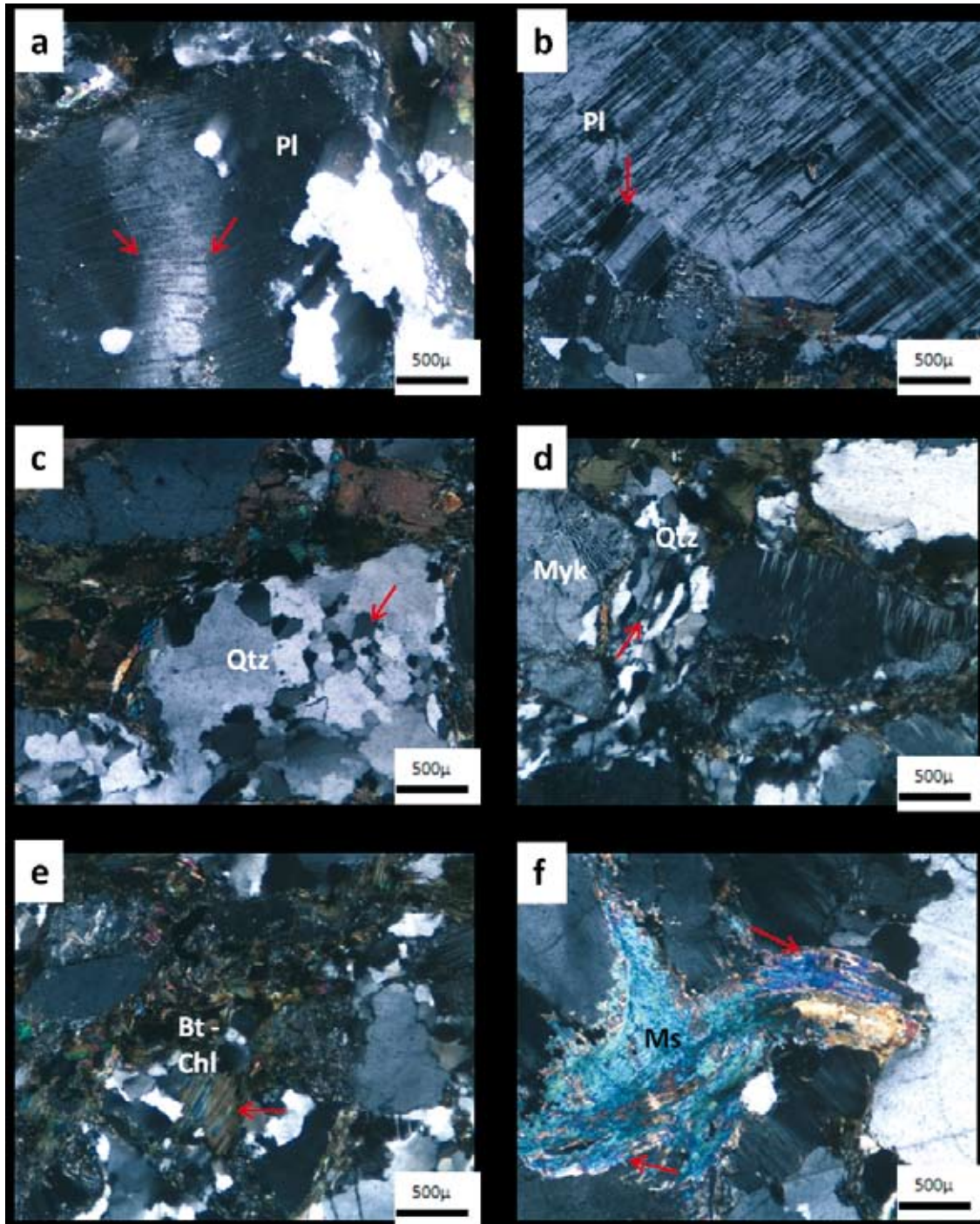
Para definir el protolito de estas rocas se tienen en cuenta aspectos como relaciones de campo, microestructuras y asociación de minerales. Sin embargo, las anfibolitas pueden proceder tanto de rocas ígneas básicas como de rocas sedimentarias feldespáticas – líticas con alto grado de inmadurez composicional. La asociación mineral encontrada no da información suficiente para definir el

protolito, y por tanto se requieren análisis geoquímicos que permitan determinar la afinidad de los minerales que forman la roca.

#### Migmatitas

En esta sección se hace referencia a las rocas que afloran en el área del Páramo de Berlín y esporádicamente en la vía California-Vetas; que a diferencia de los neises anteriormente descritos, presentan a escala macroscópica morfologías de primer y segundo orden (Sawyer 2008) de procesos de migmatización.

Petrográficamente, en las migmatitas del neis se observa desarrollo de meso y leucosomas, el leucosoma está compuesto por cuarzo y feldespato alcalino (con microestructuras de exsolución e intercrecimientos) y el mesosoma está constituido principalmente por paraneis biotítico o anfibolita (figura 8). La morfología de estas migmatitas depende de las proporciones entre leucosoma y mesosoma; en general el mesosoma predomina sobre el leucosoma en una proporción promedio 65-35%, respectivamente, sin embargo en algunas localidades esta relación se invierte. Estas variaciones de proporciones aparentemente no representan cambios en el protolito, y pueden estar relacionadas con la temperatura alcanzada, que lleva a producir más o menos leucosoma.



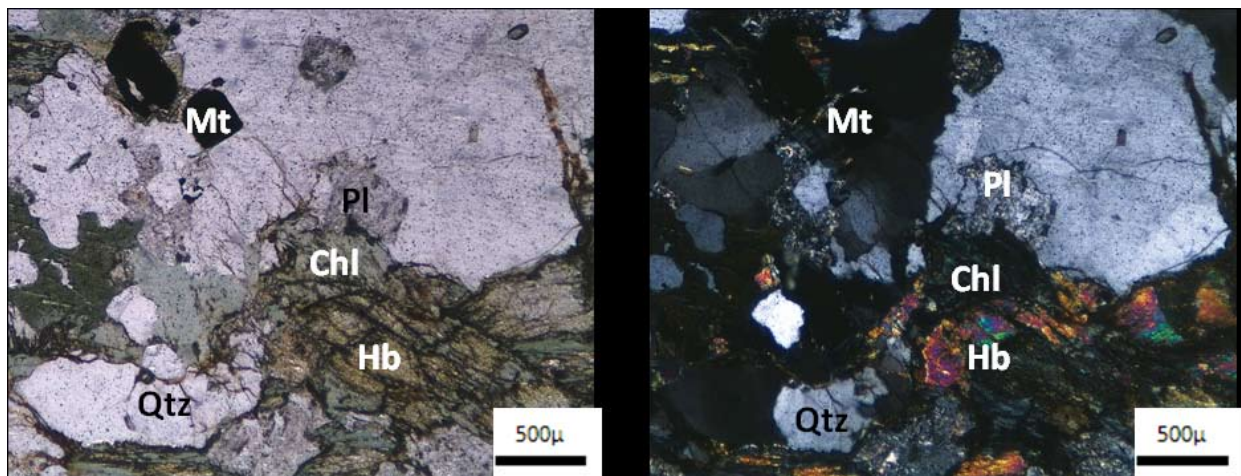
**Figura 5.** Neises cuarzo feldespáticos afectados por eventos tectónicos. a) Plegamiento evidenciado en las maclas de la plagioclasa. b) Intercepción de dos tipos diferentes de maclas en un mismo cristal de plagioclasa. c) Recristalización de cuarzo con textura mortero. d) deformación en cuarzo recristalizado y microestructuras de exsolución (M: mirmequita; S: simplectita de Qz en Pl). e) Doblamiento de biotita cloritizada. f) Plegamiento en muscovita.

Las rocas del Neis de Bucaramanga tienen aspecto de diatexitas localmente (figura 9a), con estructura schlieren que aparece en zonas donde aumenta la proporción del leucosoma, pero en general, su aspecto es mas de metatexitas con diversas morfologías como estromática, plegada, de dilatación y agmática o en red (figura 9). Es común observar en el mesosoma replegamientos en forma de estructuras de flujo. Dentro de los leucosomas (rocas con apariencia ígnea) se encuentran pegmatitas compuestas por muscovita, feldespato potásico y cuarzo, dispuestos en diques que cortan los leucosomas cuarzo feldespáticos; también se encuentran otros cuerpos

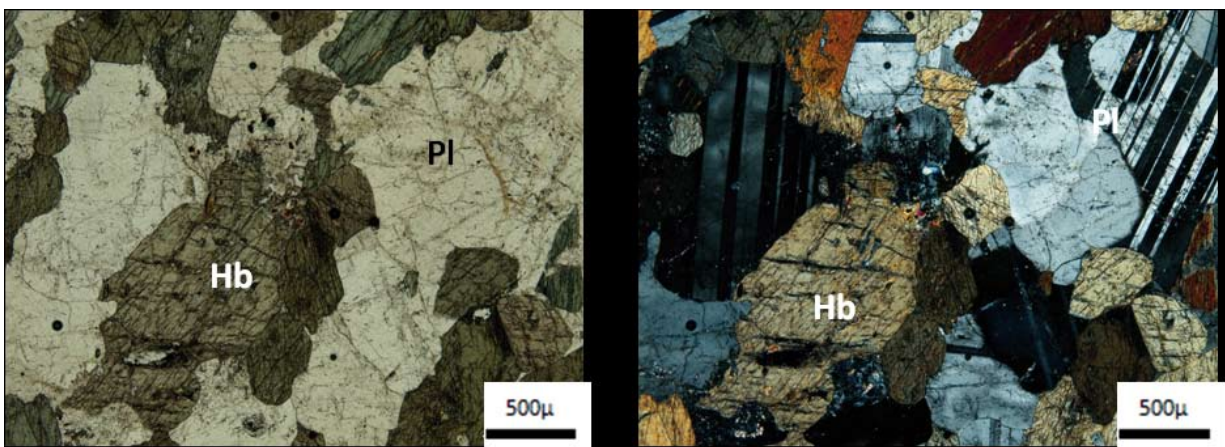
con textura porfirítica y composicionalmente varían entre dacitas y tonalitas; los cuales se interpretan como posteriores ya que intruyen los mesosomas.

#### ANÁLISIS CUALITATIVO DE FACIES

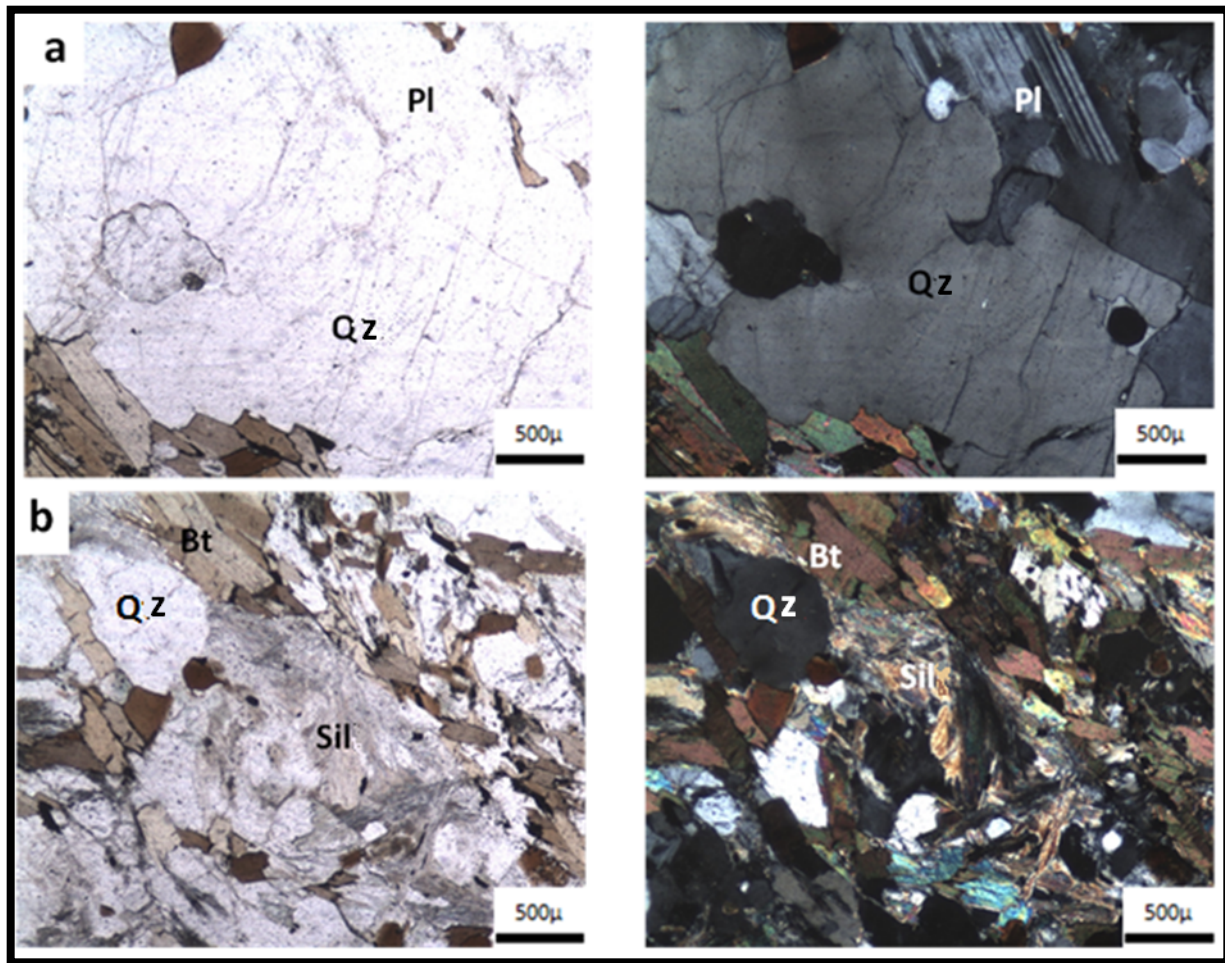
De acuerdo con las grillas petrogenéticas para el sistema de equilibrio KFMASH ( $K_2O$ -FeO-MgO- $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ ) usado comúnmente en pelitas (Holland & Powell 1990; White 2008) y con la asociación mineral de equilibrio encontrada (cuarzo + plagioclasa + biotita + sillimanita  $\pm$  feldespato potásico  $\pm$  muscovita) se estiman



**Figura 6.** Neis hornbléndico con plagioclasa, cuarzo y magnetita, se reconocen alteración de la hornblenda a clorita y sericitización en las plagioclasas (muestra IGM 5000762, del área de Bucaramanga al este del intrusivo de la Corcova), fotografías en PPL y XPL.



**Figura 7.** Anfibolita, formada por hornblenda y plagioclasa con poca alteración (muestra CLU-1062, del área de Vetás), fotografías en PPL y XPL.



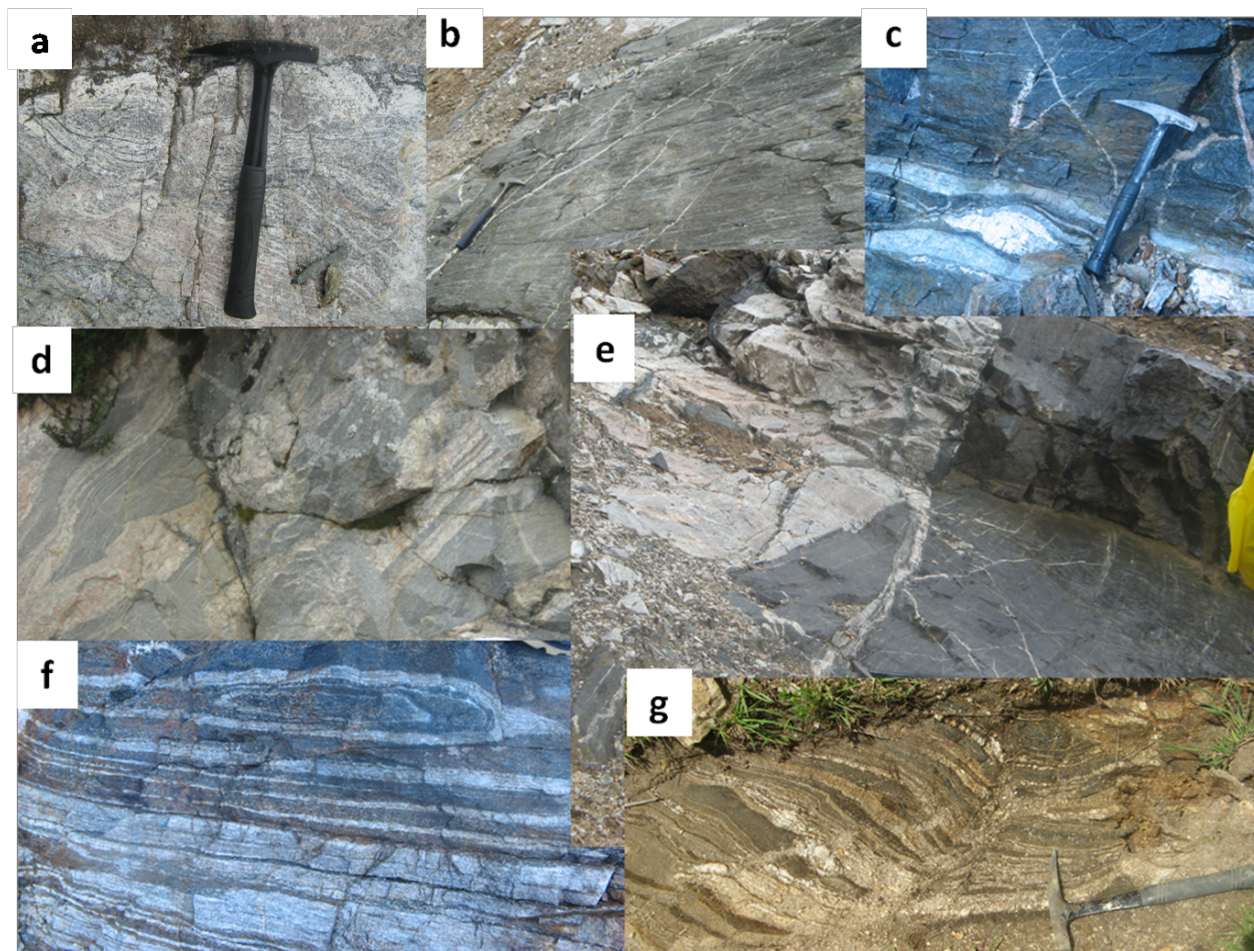
**Figura 8.** Neis biotítico sillimanítico con estructura migmatítica que se puede reconocer a escala micro (muestra IGM 5000770, del área de Bucaramanga), fotografías en PPL y XPL. a) Leucosoma formado por grandes cristales de cuarzo y plagioclasa; nótese en la parte superior una simplectita de borde entre Qz-Pl. b) Mesosoma compuesto principalmente por biotita y sillimanita con una orientación bien desarrollada.

temperaturas entre 665 y 700°C y presiones entre 5,5 y 7,2 kbar (figura 10). Para las rocas afectadas por procesos de fusión parcial y que por procesos de deshidratación no tienen muscovita en la paragénesis, el rango temperatura está entre 720 y 750°C y se estima una presión entre 6,4 y 7,2 kbar (figura 11). En ambos casos, para ubicar las condiciones P – T dentro de la grilla, se tiene como referencia el campo de la sillimanita, que para las rocas con presencia de muscovita el rango se restringe por la línea de reacción que marca la aparición de biotita + sillimanita y la desaparición de cordierita, dentro de la zona de estabilidad del granate.

Así mismo, el hecho de no encontrar granate en paragénesis con biotita en el neis sillimanítico,

posiblemente por bajos contenidos de hierro en el sistema, permite interpretar que el campo de estabilidad para la paragénesis mineral no sobrepase el punto invariante clorita-cloritoide, ubicado a 630°C y 3,5 kbar.

En el grupo de rocas donde se interpreta fusión parcial, el rango P-T está limitado por líneas de reacción que muestran la ausencia de muscovita + granate y la presencia de sillimanita, biotita y feldespato potásico. Sin embargo, las asociaciones minerales no dependen solamente de las condiciones presión-temperatura, sino también de la composición original del sistema, en especial de las proporciones Fe – Mg o Ca – Na (en el caso de los minerales que corresponden a soluciones solidas) presentes en los minerales. Además, las grillas



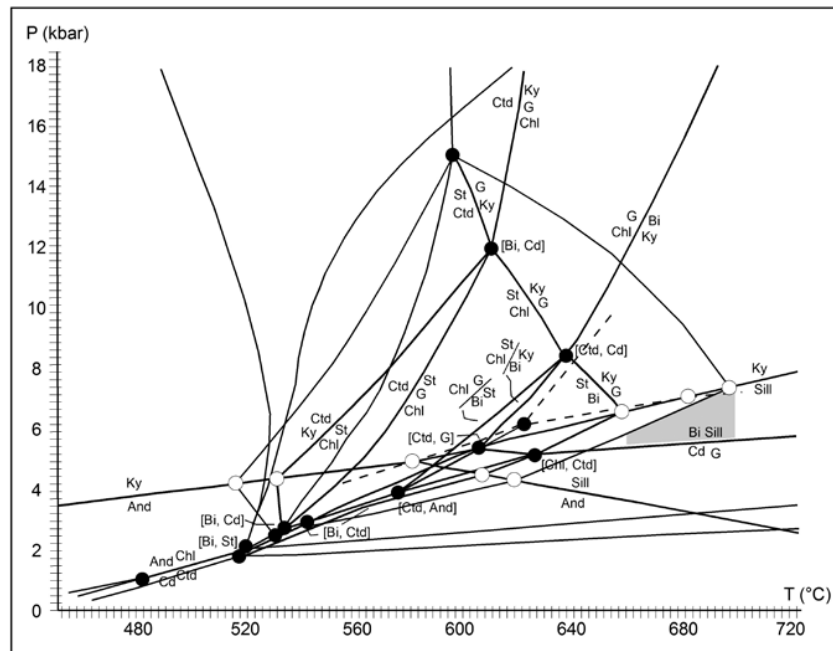
**Figura 9.** Diferentes estructuras de migmatitas reconocidas en campo (Localidad: páramo de Berlín). a) Diatexitita con estructura schlieren, se observan algunos pliegues delgados con bajo contenido de máficos, predominio de leucosomas. b) Metatexitita con estructura en red, se desarrollan delgadas venas de leucosoma orientadas en diferentes direcciones que se cortan entre sí. c) Metatexitita con estructura de dilatación, desarrollo de lentes cuarzo feldespáticos del leucosoma generada como resultado de la deformación. d) Metatexitita con estructura estromática y de dilatación. e) Metatexitita con estructura estromática, desarrollo de bandas de leucosoma y mesosoma en proporciones sub-iguales. f) Metatexitita con estructura estromática, con numerosas bandas de leucosoma paralelas. g) Metatexitita con estructura estromática plegada.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

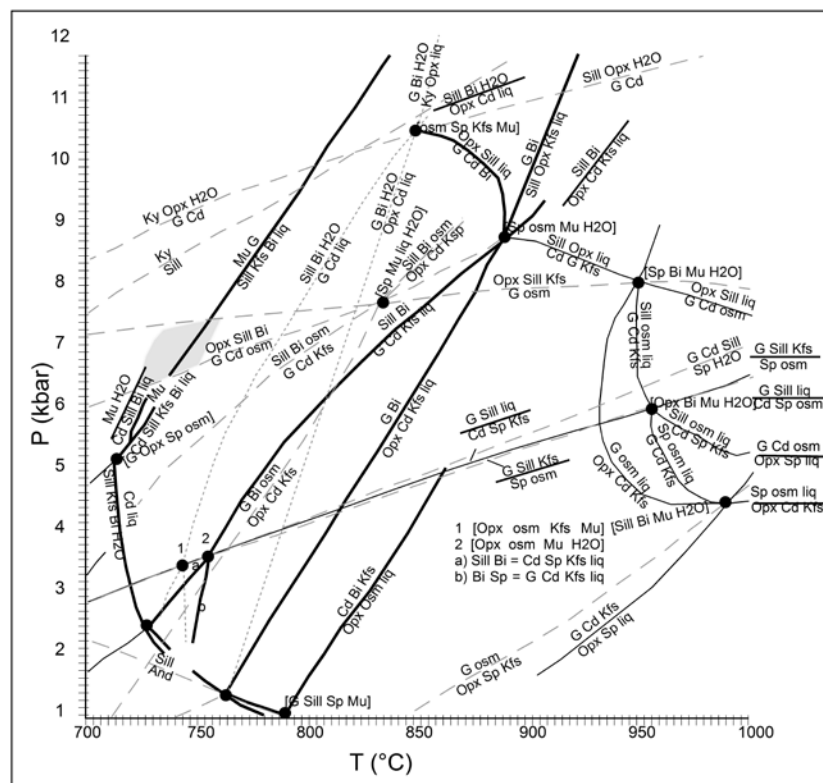
petrogenéticas mencionadas no toman en cuenta óxidos menores (como el MnO) que pueden ampliar o disminuir el rango de estabilidad de algunas fases minerales (v. gr., granate, ver por ejemplo Thinkam et al. 2001).

No obstante, el análisis hecho permite una primera aproximación a las condiciones de presión y temperatura ante la carencia de datos de microsonda cuantitativos en rocas apropiadas que contengan la paragénesis mineral biotita + granate + plagioclase + muscovita.

El análisis petrográfico detallado permitió determinar las asociaciones minerales para las variaciones litológicas del Neis de Bucaramanga en Cepitá, Vetás, Berlín y al este de Bucaramanga; donde predominan paraneis cuarzo feldespático de afinidad pelítica sobre otros tipos de rocas como cuarcita, anfibolita y neis hornbléndico. Las observaciones de las microestructuras evidencian cambios progresivos de los minerales están asociados con los eventos de calentamiento y enfriamiento que ha sufrido la roca durante el proceso de metamorfismo (v. gr.



**Figura 10.** Grilla petrogenética para metapelitas del sistema KFMASH (tomada de Holland & Powell 1990). La región sombreada representa el rango P-T para neises con paragénesis mineral  $Qz+Pl+Bi+Sil+Kfs\pm Ms$ .



**Figura 11.** Grilla petrogenética para metapelitas del sistema KFMASH (tomada de White 2008). La región sombreada representa el rango P-T para neises migmatíticos con paragénesis mineral  $Qz+Pl+Bi+Sil+Kfs$ .

Vernon 2004). Para las rocas del Neis de Bucaramanga, la microestructura más común es la néisica de grano medio a grueso con bandeamiento composicional local (que indica poca deformación en metasedimentitas) y lineación de minerales micáceos. Otras microestructuras comunes observadas son plagioclasas macladas, intercrecimientos simplectíticos o exsolución en feldespatos (que indican descensos de la temperatura durante la cristalización en estado sólido), algunas maclas de transformación en feldespato potásico (desarrollando microclina) y microestructuras de recrystalización y crenulación originadas por eventos posteriores al metamorfismo.

El neis de Bucaramanga se considera como una unidad migmatítica porque en todas las zonas se observan leucosomas (lentes cuarzo feldespáticos, y diques-silos de composición variada, incluyendo pegmatitas). Las morfologías macroscópicas de las migmatitas difieren del bandeamiento composicional por segregación metamórfica o del protolito, ya que los leucosomas fueron formados después o con el evento metamórfico y no representan un rasgo estructural del protolito. Esta es una caracterización descriptiva de la unidad y no implica que su origen sea por fusión parcial. Si fuera originada por fusión parcial, el predominio de metatexitas implicaría bajo grado de fusión y el gran tamaño de los cristales del leucosoma indicaría un enfriamiento lento, aunque la aparición de microestructuras de exsolución se debe a fluctuaciones de la temperatura durante la fase de cristalización.

Mineralógicamente los neises cuarzo feldespáticos están compuestos por cuarzo, plagioclasa, biotita, sillimanita y en menores cantidades feldespato potásico y muscovita. Estas asociaciones paragenéticas permiten deducir algunas características del metamorfismo; el hecho de que se reconozca feldespato potásico (ortoclasa) y sillimanita indica que el metamorfismo alcanzó facies anfíbolita de alta temperatura y presión intermedia. Las características petrográficas permiten también inferir que el sistema contenía bajas proporciones de

agua (bajos contenidos de muscovita) y, localmente, altas concentraciones de fosfato (desarrollo de grandes cristales de apatito).

El análisis cualitativo de facies, a partir de la paragénesis descrita, el rango estimado de presión y temperatura para el metamorfismo se encuentra entre 5,5 y 7,2 kbar y entre 660 y 750°C. Éste análisis se hizo con base en el modelo KFMASH comúnmente usado para rocas pelíticas; sin embargo, al usar esta grilla petrogenética se debe considerar que aún no ha sido definido un protolito pelítico para todos los tipos de rocas y enfatizar que el metamorfismo depende tanto de las condiciones de presión - temperatura como de la composición. El KFMASH muestra las asociaciones paragenéticas de la cordierita, la sillimanita y el granate, por lo tanto es apropiado para modelar los contenidos de Fe-Mg (Thinkam et al. 2001) pero no permite determinar condiciones presión-temperatura en rocas que involucran asociaciones minerales con plagioclasa, granate y sillimanita. Para el Neis de Bucaramanga el rango de presión se ubica por encima del campo de estabilidad de la cordierita, y dentro del campo de estabilidad del granate.

### Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia; al grupo de trabajo del proyecto “Asesoría Técnica y Ejecución de Ensayos de Laboratorio para el Mapa Metalogénico de Colombia”, que permitió el desarrollo de este trabajo de investigación; a los docentes del Departamento de Geociencias Juan Carlos Molano y Gloria Inés Rodríguez por su acompañamiento durante el desarrollo de éste; al geólogo Julián Ceballos de Ingeominas por sus aportes y colaboración, y a todos quienes facilitaron el trabajo de campo y laboratorio. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias hechas por Mauricio Ibañez y Uwe Altenberger; sin embargo, cualquier error u omisión que queden en este trabajo son nuestros.

## REFERENCIAS

- Arenas, J. E. (2004): Litología y Petrología de las Metamorfitas Carbonatadas y Metasedimentitas Asociadas de la Formación Silgará, Faja Noroeste de Mutiscua (Macizo de Santander), Norte de Santander (Trabajo de grado), p 261. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- Cordani, U.G.; Cardona, A.; Jimenez, D. & Nutman, A. P. (2005): Geochronology of Proterozoic basement inliers from the Colombian Andes: tectonic history of remnants from a fragmented Grenville belt. En: Cardona, A.; Chew, D.; Valencia, V.; Bayona, G.; Mircovic, A. & Ibañez-Mejía, M. (2010): Grenvillian remnants in the Northern Andes: Rodinia and Phanerozoic paleogeographic perspectives. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 92-104.
- Dörr, W.; Grösser, J.R.; Rodríguez, G. I. & Kramm, U. (1995): Zircon U-Pb age of the Paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) Geotectonic significance. *Journal of South American Earth Sciences*, 8 (2): 187-194.
- Fettes, D. & Desmons, J. (Editores) (2007). *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. Cambridge University Press, Cambridge. 244 p.
- Forero-Suárez, A. (1990): The basement of the Eastern Cordillera, Colombia allochthonous terrane in the northwestern South America - *Journal of South American Earth Sciences*, 3 (2/3): 141-151.
- 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*, V. 27, (2): 43-68, Bucaramanga.
- Goldsmith, R.; Marvin, R. & Mehnert, H., (1971): Radiometric Ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. US Geological Survey, Professional Paper, (750D): D44-D49. Denver.
- Holland, T. & Powell, R. (1990): Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH ( $K_2O$ -FeO-MgO- $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ ). – *American Mineralogist*. V. 75: 367-380.
- Julivert, M. (1961b): Geología de la Vertiente W de la Cordillera Oriental en el Sector de Bucaramanga. *Boletín de Geología/ Universidad Industrial de Santander*. V. 4 (8): 1-17.
- Mantilla F., L. C.; Valencia, V. A.; Barra, F. Pinto, J. & Colegial, J. (2009): Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfíricos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Santander, Colombia). *Boletín de Geología/ Universidad Industrial de Santander*. V. 31 (1): 31-43.
- Navarro, A. & Reyes, R. (1983): Estudio geológico petrográfico orientado a la prospección de Uranio en un sector al occidente del Municipio de Abrego (Vereda Capitán Largo), Norte de Santander (Trabajo de grado), p 145. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- Ramos, V. (2010): The Grenville – age basement of the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 77-91.
- Restrepo-Pace, P.; Ruiz, J.; Gehrels, G. & Cosca, M. (1997): Geochronology and Nd isotopic data of the Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters* 150: 427-441.
- Royero, J. & Vargas, R. (1999): Mapa del Departamento de Santander, Escala 1:300.000. Ingeominas.
- Royero, J. & Vargas, R. (2001): Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Escala 1:400.000; Memoria Explicativa. Ingeominas.
- Sawyer, E.W. (2008): Working with migmatites: Nomenclature for the constituent parts. – Sawyer, E. W. & Brown, M., eds. *Short Course Series, Working with Migmatites*. V. 38: 1-24, Mineralogical Association of Canada. Quebec City, Quebec.
- Thinkam, D. K.; Zuluaga, C. A. & Stowell, H. H. (2001): Metapelite phase equilibria modeling in MnNCKFMASH: the effect of variable  $Al_2O_3$  and MgO/ (MgO +FeO) on mineral stability. *Geological Materials Research*. V. 3 (1): 1-42.
- Toussaint, J. (1993): Evolución Geológica de Colombia: Pre Cambriano – Paleozoico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.
- Vernon R. (2004): A practical guide to rock microstructure. pp 169-401. Cambridge University Press.

- Vargas, R.; Arias, A.; Jaramillo, L. & Tellez, N. (1976) Cartografía Geológica Plancha 136 - Málaga. Ingeominas.
- Ward, D.; Goldsmith, R.; Cruz, J. & Restrepo, A. (1973): Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Ingeominas, Boletín Geológico 21 (1-3): 1- 132. Bogotá.
- Ward, D.; Goldsmith, R.; U.S., Geological Survey; Cruz, J.; Jaramillo, L. & Vargas, R. (1977): Geología del Cuadrángulo Pamplona H13. Ingeominas.
- Ward, D.; Goldsmith, R.; U.S., Geological Survey; Jimeno, A.; Cruz, J.; Restrepo, A. & Gómez, E., (1977): Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Ingeominas.
- White, R. (2008): Insights gained the petrological modeling of migmatites: particular reference to mineral assemblages and common replacement textures – Sawyer, E. W. & Brown, M., eds. Short Course Series, Working with Migmatites. V. 38: 77-96, Mineralogical Association of Canada. Quebec City, Quebec.
- Whitney, D. L. & Evans, B. W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. – American Mineralogist. V. 95: 185-187.