

## COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALOGÍA DE LAS BIOTITAS METAMÓRFICAS DEL SECTOR CENTRAL DEL MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA

---

García Ramírez C. A.<sup>1</sup>, Campos Alvarez N. O.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Las biotitas metamórficas de las formaciones Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis en el Sector Central del Macizo de Santander corresponden a la serie eastonita-siderofilita y annita. La composición química de la biotita en metapelitas varía con relación al grado de metamorfismo, mientras que en las rocas cuarzo-feldespáticas y máficas, el quimismo de las biotitas esta condicionado por la composición del protolito.

### ABSTRACT

The metamorphic biotites of the Neis de Bucaramanga, Silgará and Ortoneis formations in the Central Part of the Santander Massif correspond to the eastonite-siderofilite and annite series. The chemical composition of the biotite in metapelites depends on the temperature and pressure, while in quartz feldspathic and mafic rocks it is controlled by the bulk rock composition of the protolith.

**Palabras Clave:** Biotita, química mineral, mineralogía, Macizo de Santander

**Keywords:** Biotite, mineral chemistry, mineralogy, Santander Massif

### INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo fueron estudiadas las biotitas metamórficas de las formaciones Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis en el Sector Central del Macizo de Santander, mediante microscopía óptica, microsonda electrónica, espectroscopia infrarroja (EIR) y difracción de rayos X (DRX). Mediante la microscopía óptica se definieron las características ópticas, morfológicas y paragenéticas de la biotita y se determinaron las

facies y subfacies del metamorfismo. La espectroscopia infrarroja permitió determinar las bandas de absorción, características relacionadas con la variación en la composición química del mineral y el grado de metamorfismo. La difracción de rayos X permitió establecer las características estructurales de la biotita, las cuales pueden estar relacionadas con variaciones en las condiciones termodinámicas durante el metamorfismo de las formaciones Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis y con el tipo petroquímico de la roca encajante.

---

<sup>1</sup>Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678  
Bucaramanga, Colombia, Correo Electrónico: cgarciar@uis.edu.co

## METODOLOGÍA

Durante el trabajo de campo se realizó un muestreo sistemático de las rocas de las formaciones Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis, teniendo en cuenta, en lo posible, el menor grado de meteorización y recolectando así mismo, datos litológicos, mineralógicos, texturales y estructurales. Posteriormente, fueron elaboradas las secciones delgadas para su estudio mineralógico y petrográfico, las cuales se analizaron en un microscopio Labophot2 - Pol del Laboratorio de Investigación en Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS) sede Guatiguará; de estas mismas muestras se separó la biotita para su posterior análisis por los métodos de EIR y DRX. También, se elaboraron secciones delgadas pulidas para determinar la composición química de la biotita mediante la microsonda electrónica.

La espectroscopia infrarroja se realizó en el laboratorio de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en un aparato PERKIN ELMER el cual permite obtener un espectro en la región  $500-4.000\text{ cm}^{-1}$ ; el estudio de DRX fue realizado en el Laboratorio de Difracción de rayos X de la Escuela de Química de la UIS utilizando un difractómetro Rigaku con tubo de cobre y un voltaje de 40Kv, con lectura hasta un ángulo de  $2\theta$ . Los análisis de microsonda electrónica se realizaron en el Centro de Microscopia Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid (España) utilizando una microsonda JEOL bajo las siguientes condiciones: Potencial de activación 15,0Kv, tiempo de conteo 20 segundos, corrección de las concentraciones por medio del programa ZAF, usando como estándares minerales naturales y sintéticos.

## MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra enmarcada en la región centrorienta del Macizo de Santander, el cual está formado por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias con edades que oscilan desde el Precámbrico hasta el Terciario.

En el área de estudio las rocas metamórficas de las formaciones Neis de Bucaramanga y Silgará de edad Precámbrico Superior pueden encontrarse intruidas por rocas del Ortoneis del Ordovícico o pueden estar sobrepuestas tectónicamente a lo largo de las fallas que cortan el Macizo de Santander con un rumbo preferencial aproximado norte - sur; en forma similar, la Formación Silgará puede encontrarse en contacto fallado con rocas sedimentarias de la Formación Floresta del Devónico y las formaciones Tibú y Mercedes del Cretáceo (Figura 1 ).

## PETROGRAFÍA

Las biotitas estudiadas se presentan en rocas metamórficas de las formaciones Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis. A continuación, se describen los rasgos fundamentales de estas formaciones.

### *Formación Neis de Bucaramanga*

La Formación Neis de Bucaramanga está constituida por rocas pelíticas (neises biotíticos), rocas semipelíticas (neises cuarzo-feldespáticos y cuarcitas) y rocas máficas (neises hornbléndicos, neises biotítico-hornbléndicos y anfibolitas) de aspecto bandeado y masivo. Las rocas pelíticas y máficas predominan en esta formación. Los neises son las rocas más comunes dentro de esta unidad y sus principales minerales son: cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, algunas veces biotita, hornblenda o silimanita. Entre los minerales menores están el granate y a veces biotita, hornblenda y silimanita. Los minerales accesorios más comunes son esfena, rutilo, corindón, leucóxeno, opacos y granate. Los minerales de alteración son: clorita, sericita, saurita y caolinita. Las rocas semipelíticas se presentan intercaladas con las pelíticas; composicionalmente, son cuarzo feldespáticas con cantidades menores de granate, silimanita, biotita y muscovita y como minerales accesorios, zircón y apatito. La textura predominante es la granoblástica y en menor proporción, lepidogranoblástica.

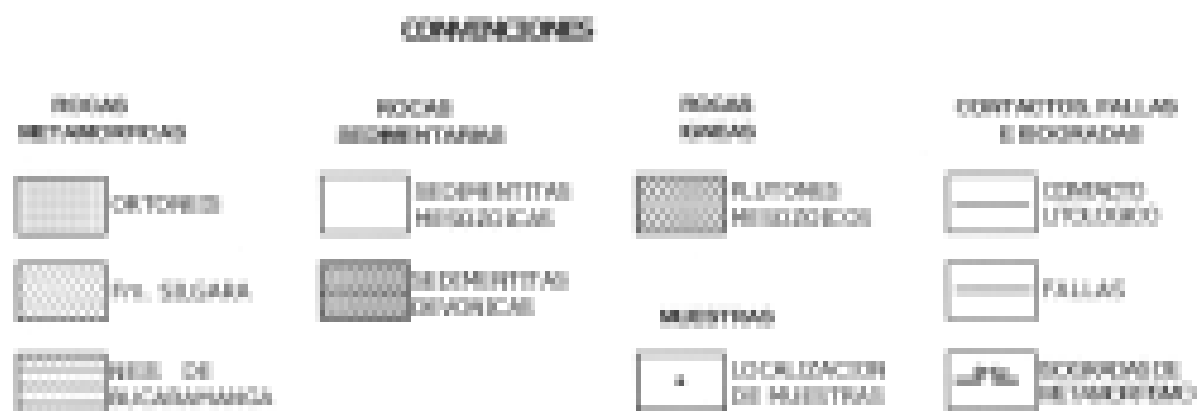
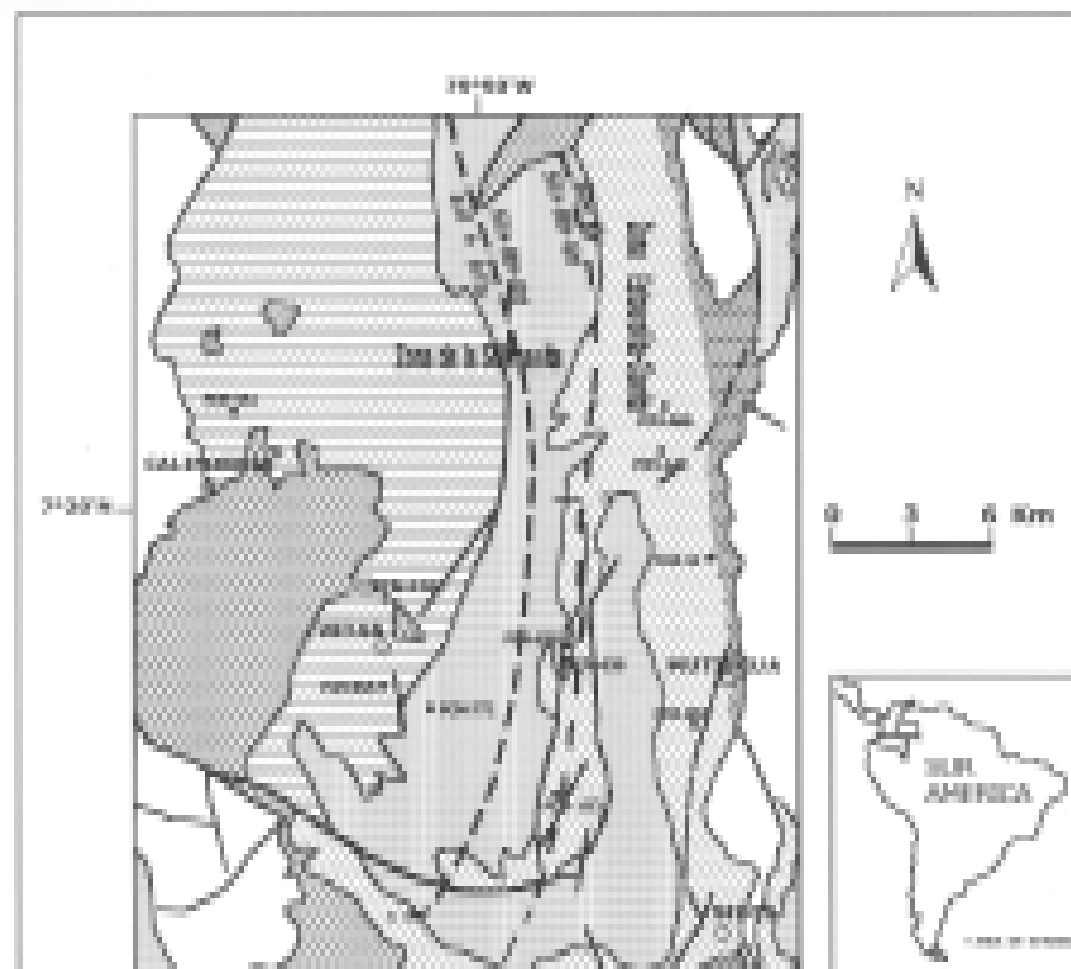


FIGURA 1. Esquema geológico del sector central del Macizo de Santander. Compilado y modificado después de Ward y otros. (1973) y García, Ríos (1999).

cm<sup>-1</sup> y son de intensidad fuerte y media respectivamente; las demás muestras se localizan en la región 3.444 cm<sup>-1</sup> y son todas de intensidad media.

La región 3.555 - 3.583 cm<sup>-1</sup> representa la vibración del enlace O-H libre. La banda 3.555 cm<sup>-1</sup> de baja intensidad se presenta en la muestra PCM - 666 (metapelite de la zona estaurólita-cianita) y en las muestras PCM - 972 (metapelite de la zona de la silimanita) y PCM - 140 (roca cuarzo-feldespática de la zona estaurólita-cianita). Esta banda que se encuentra desplazada hacia las frecuencias más altas es de intensidad media y débil respectivamente, lo cual indicaría un reemplazo del O-H libre por otro elemento tal vez el Fe. El desplazamiento de la banda del O-H libre hacia las frecuencias más altas, podría indicar un incremento del grado de metamorfismo en las rocas pelíticas.

**CONCLUSIONES**

- Las biotitas estudiadas corresponden a la serie eastonita-siderofilita y annita.
- El color de las biotitas en metapelitas se podría usar para distinguir variaciones en el grado de metamorfismo de la roca huésped.
- El contenido de Fe en las biotitas de metapelitas se incrementa al aumentar el grado de metamorfismo de la roca huésped.
- Los parámetros de la celda unidad de las biotitas son influenciados por el isomorfismo homo- y heterovalencial, cuya intensidad depende del grado de metamorfismo.

**AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo financiero de COLCIENCIAS y a la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER a través del proyecto de investigación 1102-05-083-95 (código interno 7408) “Metamorfismo y Metalogénia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia”. Los autores también expresan sus agradecimientos a la estudiante de Geología, Claudia Patricia Gutiérrez, por la digitalización del esquema geológico.

**REFERENCIAS**

Barabanov, et al. (1990) Sovremenniié fisicheskie metodi v gneojimii. Leningrad, Izdatel'svo Leningrad'skogo Universiteta, p.387

García, C., Martínez, F. (1997) Estudio de los minerales del Grupo de las micas mediante espectroscopia infrarroja. Informe final del proyecto de investigación 7410. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, p. 74

García, C., Ríos, C. (1999) Metamorfismo y Metalogénia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Informe final del proyecto de investigación 1102-05-083-95 Colciencias – Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, p. 191

Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. American Mineralogist, Vol. 68, pp. 277-279

Ward, D. et al. (1973) Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico INGEOMINAS, Vol. XXI, N° 1-3.

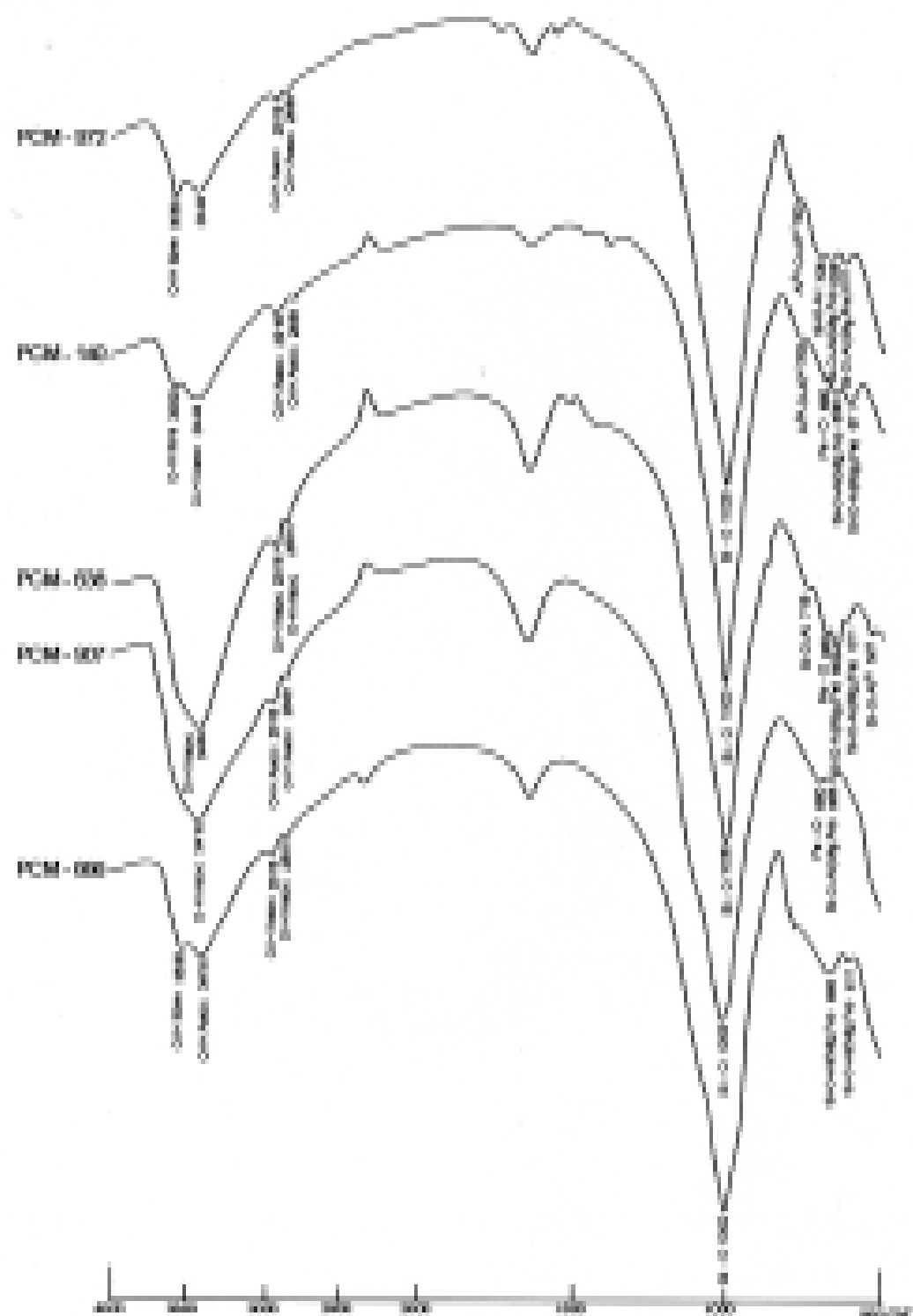


FIGURA 3. Espectros infrarrojos de biotitas

Las rocas máficas con estructura bandeada a masiva, corresponden a neises con hornblenda y biotita con predominio sobre el cuarzo y los feldespatos; como minerales menores se presenta la muscovita y como accesorios, apatito, esfena y zircón. Los minerales secundarios más comunes son: clorita, biotita y sericita. Las anfibolitas, además de contener hornblenda y plagioclasa, presentan como minerales menores y accesorios: cuarzo, biotita, apatito y esfena. Los minerales de alteración son: epidota, sausruta y clorita. La textura dominante es la nematoblástica o la granonematoblástica.

#### *Formación Silgará*

La Formación Silgará comprende rocas pelíticas (esquistos feldespático-micáceos y esquistos micáceos), rocas semipelíticas (esquistos cuarzo-feldespáticos, esquistos micáceo-cuarzosos, cuarcitas feldespáticas, cuarcitas micáceo-feldespáticas, cuarcitas muscovíticas y cuarcitas feldespáticas), rocas máficas (esquistos anfibólicos), y rocas carbonatadas (mármol).

Las rocas pelíticas presentan una estructura esquistosa o en ocasiones slaty cleavage; son de color gris, gris claro o pardo claro y contienen muscovita, biotita, cuarzo y plagioclasa, como minerales principales. La estaurolita, al igual que la silimanita, pueden ser ocasionalmente minerales principales. El granate y los minerales opacos, son minerales menores y los accesorios más comunes son: turmalina, cianita, grafito, esfena, zircón y corindón; los minerales secundarios o de alteración frecuentes son la sericita según plagioclasa, clorita según biotita y leucoxeno según minerales opacos titaníferos. La cianita puede ser mineral principal o menor y la plagioclasa puede ser mineral menor, accesorio o estar totalmente ausente. La textura general de la roca es granolepidoblástica a porfidoblástica en matriz granolepidoblástica.

Las rocas semipelíticas son de color gris claro con estructura esquistosa, bandeada o masiva, en las que el cuarzo, muscovita y ocasionalmente la plagioclasa y cianita, son los minerales principales. Los

minerales menores son: granate, muscovita, cianita, ocasionalmente biotita y minerales opacos. Los accesorios son: turmalina, esfena, corindón, zircón, apatito, clinozoisita y biotita. Entre los minerales de alteración figuran la sericita, clorita y leucoxeno; la silimanita se presenta como mineral menor o accesorio. La textura predominante es porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica aunque localmente se puede observar la textura lepidogranoblástica, granoblástica y poiquiloblástica.

Las rocas máficas son de color verde con diferentes tonalidades que se presentan a manera de delgadas bandas en las zonas de contacto entre mármoles y rocas semipelíticas. Los minerales principales son la hornblenda y el cuarzo; la epidota, plagioclasa y el granate pueden ser minerales menores o accesorios.

Las rocas carbonatadas son de color rosado, gris claro o blanco, con estructura masiva y constituidas predominantemente por calcita. La calcita es el mineral principal con cuarzo, zoisita y epidota los cuales en general, no superan el 2 % de la roca.

#### *Formación Ortoneis*

La formación Ortoneis en esta área, está constituida por rocas máficas (neises biotítico-hornbléndicos) y rocas semipelíticas (neises cuarzo-feldespáticos). Las rocas máficas son de color verde oscuro con estructura masiva o una foliación poco marcada o apenas existente. La hornblenda es el mineral dominante acompañado de plagioclasa y biotita. El cuarzo es el mineral menor y como accesorios, se encuentran la epidota y el apatito; los minerales de alteración comunes son la clorita y la sericita.

Las rocas semipelíticas presentan estructura néisica a veces ojosa, colores de blanco a gris claro, con cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. Los feldespatos y el cuarzo son los minerales principales pues llegan a superar el 95% de la roca; la microclina y la plagioclasa son los feldespatos dominantes y su relación cuantitativa es variable. Como minerales menores están hornblenda y biotita, aunque estos

pueden estar ausentes; como accesorios zircón, tenemos: apatito, epidota, esfena y clinozoisita. Los minerales secundarios o de alteración son la biotita según la hornblenda y el leucoxeno según la esfena. La textura predominante es lepidogranoblástica y granoblástica. La microclina suele ser pertítica.

## METAMORFISMO

Las rocas del área de estudio se metamorfizaron en condiciones de facies anfibolita, subfacie o zona de estaurolita-cianita y silimanita (silimanita-biotita-granate y silimanita-feldespató potásico). En la zona de la estaurolita-cianita, la biotita forma las siguientes paragénesis (símbolos de minerales según Kretz, 1983): Grt + Bt + Ms + St + Qtz ± Ky; Bt + Ms + Qtz ± Grt + St; Bt + Ms + Ky + Pl + Qtz (en rocas pelíticas); Pl + Bt + Ms + Qtz (en rocas semipelíticas). Las temperaturas del metamorfismo de esta zona, según el geotermómetro granate-biotita de Hodges y Spear (1982) varían entre 565 y 638°C, mientras que la presión es 6.2 - 7.5 Kb (geobarómetro Grt-Pl-Als-Qtz de Hodges y Spear (1982); Grt-Ms-Als-Qtz de Hodges y Crowley (1985)).

Para la zona de la silimanita - biotita - granate son características las paragénesis: Grt + Bt + Ms + Sil + Qtz y Grt + Bt + Sil + Pl + Qtz (en rocas pelíticas); Bt + Grt + Hb + Pl + Bt + Qtz (en rocas máficas). La temperatura y la presión del metamorfismo (usando los mismos geotermómetros y geobarómetros de la zona estaurolita-cianita) para la zona de la Silimanita-biotita-granate, son respectivamente 648 - 702°C y 2.8 - 5.3 Kb. La zona Silimanita-feldespató potásico se caracteriza por la desaparición de la muscovita formándose en su lugar feldespató potásico. Las paragénesis características de esta zona son Sil + Kfs + Pl Bt + Grt + Qtz (rocas semipelíticas) o Sil + Kfs + Pl + Hb + Bt + Qtz (rocas máficas) y las temperaturas y presiones determinadas, son respectivamente 698 - 784°C y 5.3 - 6.4 Kb.

## MINERALOGÍA

La biotita está presente en los neises y cuarcitas de la Formación Neis de Bucaramanga, en esquistos y cuarcitas de la formación Silgará así como en los neises de la unidad de Ortoneis.

En el Neis de Bucaramanga la biotita se aparece como mineral principal o menor (5-35 %): Se presenta como cristales pleocroicos de pardo rojizo a pardo amarillento; en cristales subidioblásticos a xenoblásticos de forma tabular y laminar con desarrollo de exfoliación en una dirección. Los cristales tienen un tamaño entre 0.8 mm y 1.5 mm de largo, cuyos bordes son regulares rectos. La biotita junto a hornblenda, plagioclasa, cuarzo y granate definen una dirección  $S_1$ , al tiempo que la biotita de grano fino a medio se presenta formando  $S_2$  con la silimanita. Localmente, presenta inclusiones de cuarzo y zircón y en algunas ocasiones, se altera a clorita.

En las rocas de la Formación Silgará se observan básicamente dos generaciones de acuerdo con sus características morfológicas y microestructurales: la primera generación corresponde a los porfidoblastos xenoblásticos, subredondeados con bordes irregulares y un tamaño de grano que varía entre 0.5 y 4 mm de largo; el estado de conservación es bueno y pueden contener algunas inclusiones de cuarzo redondeadas y distribuidas de forma irregular y sin orientación preferencial. Esta primera generación de biotita puede también formar "microlithons" los cuales definen junto con el cuarzo una superficie de esquistosidad externa  $S_1$ .

La segunda generación se presenta como individuos idioblásticos a xenoblásticos con un tamaño de grano entre 0.1 y 0.3 mm de largo, o como agregados alargados los cuales presentan un paralelismo bien definido que genera una superficie de esquistosidad externa  $S_2$ . Esta superficie generalmente diverge ante la presencia de los porfidoblastos de biotita, granate y estaurolita, formando sombras de presión simétricas en algunos casos, o ligeramente asimétricas en otros. Ocasionalmente, esta

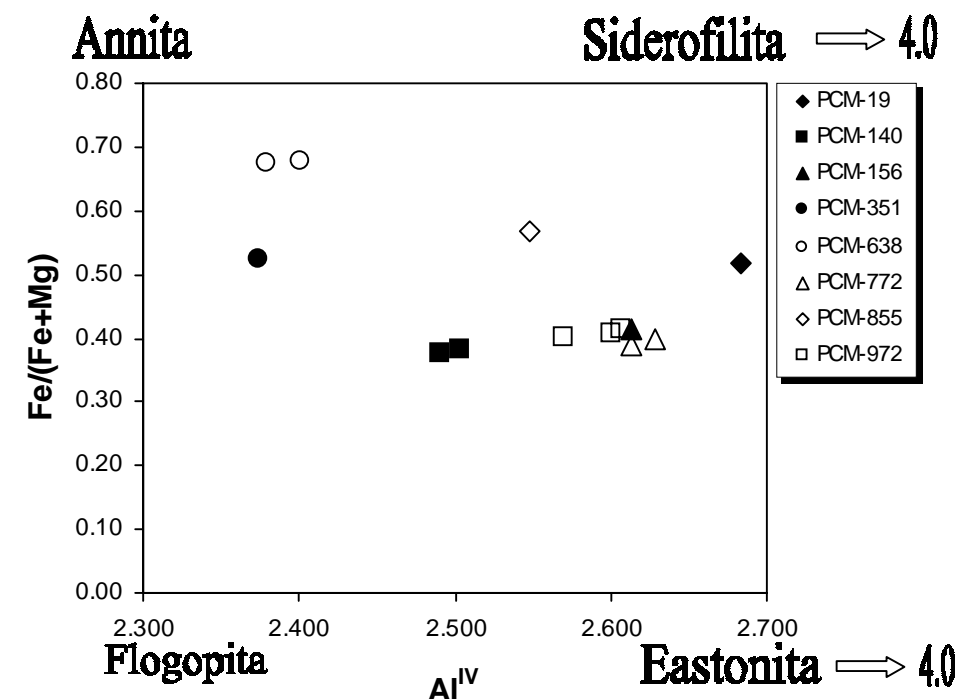


FIGURA 2. Diagrama clasificatorio de las biotitas.

grado metamórfico siendo 652  $\text{cm}^{-1}$  de intensidad media para la muestra PCM - 638; 666  $\text{cm}^{-1}$  de intensidad fuerte para la muestra PCM - 907 y 666  $\text{cm}^{-1}$  de intensidad media para la muestra PCM - 666.

Las muestras PCM - 140, PCM - 638 y PCM - 907, tienen una banda de absorción en la región 680  $\text{cm}^{-1}$  la cual está relacionada con la vibración del enlace Fe - O; ésta es de intensidad media para las dos primeras y de intensidad fuerte para la tercera. Esa característica concuerda con el carácter máfico de la roca huésped.

La región 708 - 719  $\text{cm}^{-1}$  está relacionada con la vibración del enlace Si - O - Al cuando se presenta en las muestras PCM - 972 y PCM - 638 respectivamente y en ambas con intensidad media.

La región 763  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la vibración del enlace  $\text{Al}^{\text{IV}} - \text{O} - \text{Al}^{\text{VI}}$  y se presenta en la muestra PCM-972 (zona de la silimanita-biotita-granate).

La región 874 - 1006  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la vibración del enlace Si - O y se observan dos bandas; una en 874  $\text{cm}^{-1}$  de intensidad media, la cual se presenta sólo en la muestra PCM - 638 y otra en 1.000 - 1.006  $\text{cm}^{-1}$  donde se observa un pequeño desplazamiento hacia las regiones de más alta frecuencia (1.006  $\text{cm}^{-1}$ ) en las muestras PCM - 638 y PCM - 907 las cuales son de intensidad media y fuerte respectivamente; las demás muestras corresponden a 1.000  $\text{cm}^{-1}$  siendo PCM - 972 de intensidad fuerte y PCM - 140 de intensidad media.

La zona 2.861 - 3.455  $\text{cm}^{-1}$  está relacionada con la vibración del enlace O - H asociado y se presenta en tres bandas para todas las muestras. La primera banda se localiza en la región 2.861  $\text{cm}^{-1}$  y es de intensidad débil en todas las muestras; la segunda banda se localiza en la región 2.916  $\text{cm}^{-1}$  y es de intensidad media en todas las muestras; la tercera banda se localiza en la región 3.416 - 3.444  $\text{cm}^{-1}$ , donde se ubican las muestras PCM - 907 y PCM - 666 en 3.416

TABLA 1. Composición química de las biotitas.

Formación	FS	FO	FO	FNB	FNB	FO	FO	FO	FO	FNB	FS	FS	FS
Litología	RP	RSP	RSP	RP	RM	RM	RM	RSP	RSP	RM	RP	RP	RP
Muestra	PCM-19	PCM-140	PCM-140	PCM-156	PCM-351	PCM-638	PCM-638	PCM-772	PCM-772	PCM-855	PCM-972	PCM-972	PCM-972
Análisis	57	18	19	33	39	27	29	11	9	15	11	13	14
SiO <sub>2</sub>	34.91	35.27	35.68	35.10	36.55	37.13	37.53	35.00	34.83	35.92	35.64	35.72	35.95
TiO <sub>2</sub>	1.30	3.84	3.59	3.62	3.16	3.07	2.81	4.51	4.70	2.73	2.99	2.97	3.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.38	16.38	16.72	18.07	14.81	15.66	15.82	16.61	16.70	16.20	19.78	19.94	19.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
FeO	18.59	21.58	21.97	20.36	18.34	12.80	13.01	21.96	21.41	17.50	19.80	19.75	19.94
MnO	0.07	0.39	0.49	0.31	0.51	0.13	0.13	0.45	0.43	0.20	0.12	0.14	0.15
MgO	9.68	7.50	7.44	8.06	11.33	15.11	15.09	7.82	7.92	12.91	7.70	7.81	7.49
CaO	0.05	0.00	0.05	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.29	0.13	0.13	0.12	0.13	0.36	0.46	0.19	0.14	0.27	0.34	0.36	0.36
K <sub>2</sub> O	7.04	9.72	9.53	9.86	9.52	8.80	8.84	9.64	9.70	9.41	9.29	9.28	9.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.01	0.02	0.04	0.04	0.00	0.04	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.05
Total	93.35	94.82	95.62	95.55	94.39	93.08	93.74	96.23	95.83	95.19	95.71	95.98	95.87
Cationes por 22 oxígenos													
Si	5.316	5.497	5.509	5.387	5.626	5.599	5.621	5.387	5.372	5.452	5.400	5.393	5.430
Ti	0.149	0.450	0.417	0.418	0.366	0.348	0.317	0.522	0.545	0.312	0.341	0.337	0.349
Al	3.837	3.008	3.043	3.268	2.686	2.783	2.793	3.013	3.035	2.898	3.532	3.548	3.521
Al <sup>IV</sup>	2.684	2.503	2.491	2.613	2.374	2.401	2.379	2.613	2.628	2.548	2.600	2.607	2.570
Al <sup>VI</sup>	1.153	0.505	0.552	0.655	0.312	0.382	0.414	0.400	0.407	0.350	0.932	0.941	0.951
Fe <sup>2+</sup>	2.367	2.812	2.837	2.613	2.360	1.614	1.629	2.826	2.761	2.221	2.509	2.493	2.518
Mn	0.009	0.051	0.064	0.040	0.066	0.017	0.016	0.059	0.056	0.026	0.015	0.018	0.019
Mg	2.197	1.743	1.713	1.844	2.600	3.397	3.370	1.794	1.821	2.921	1.739	1.758	1.686
Ca	0.008	0.000	0.008	0.002	0.000	0.003	0.002	0.003	0.000	0.005	0.005	0.002	0.005
Na	0.086	0.039	0.039	0.036	0.039	0.105	0.134	0.057	0.042	0.079	0.100	0.105	0.105
K	1.367	1.932	1.877	1.930	1.869	1.693	1.689	1.893	1.908	1.822	1.796	1.787	1.744
Cr	0.005	0.001	0.002	0.005	0.005	0.000	0.005	0.004	0.000	0.002	0.002	0.000	0.006
Total	15.341	15.534	15.509	15.542	15.617	15.560	15.575	15.557	15.541	15.737	15.439	15.442	15.383
X <sub>Fe</sub>	0.52	0.38	0.38	0.41	0.52	0.68	0.67	0.39	0.40	0.57	0.41	0.41	0.40

X<sub>Fe</sub>=Fe/(Fe+Mg).

FNB = Formación Neis de Bucaramanga, FS = Formación Silgara, FO = Formación Ortoneis. RP = Roca Pelítica, RSP = Rocas Semipelítica, RM = Roca Máfica. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).

La región 500 - 800 cm<sup>-1</sup> caracteriza la vibración del enlace Si - O con Al, Mg o Ti (Barabanov et. al. 1990; García, C., Martínez, F. 1997). La banda 527 cm<sup>-1</sup> se observó sólo en la muestra PCM - 638 y está relacionada con el reemplazo del Ti por el Al<sup>VI</sup>. El hecho de que esta banda aparezca sólo en la muestra, se explica por la composición máfica de ésta, mientras que las otras son pelíticas o cuarzo-feldespáticas.

La región 611 - 666 cm<sup>-1</sup> representa la vibración del enlace Si - O - Al (Mg, Fe). La banda 611 cm<sup>-1</sup> de intensidad media, se presenta en todas las muestras con excepción de la PCM - 907. La región 638 cm<sup>-1</sup> marcará el aumento de Fe por reemplazamiento del Mg; de ahí que esta banda esté presente sólo en la subfacie de más alto grado (silimanita-granate - biotita y silimanita-feldespato potásico). La región 652 - 666 cm<sup>-1</sup> se presenta para las muestras de menor

generación de biotita puede contener inclusiones de finas laminillas de grafito a lo largo de las trazas de exfoliación y otras veces, inclusiones de zircón las cuales forman halos pleocróicos. Localmente, en cercanías de la falla de Mutiscua, la biotita puede presentarse en forma de grandes porfidoblastos, estrechamente asociados con un clivaje de crenulación definido por los agregados de muscovita (muestra PCM - 907), y cuyo origen puede estar relacionado con la actividad tectónica de esta falla. La biotita de la muestra PCM-972 de la zona de la silimanita-biotita-granate presenta los siguientes valores de la celda unidad (en Å): a = 4.250, b = 10.250, c = 14.440 y b=101°.82'; estos valores altos están relacionados con un incremento del Fe y el K en este mineral, lo cual influye en las dimensiones de los parámetros b y c respectivamente.

En la Unidad de Ortoneis, la biotita se presenta como agregados estrechos y alargados o como individuos subidioblásticos a xenoblásticos con un tamaño de grano entre 0.2 y 2 mm de largo y en general, con un paralelismo bien definido que forma una superficie de esquistosidad externa (Se), la cual podría ser correlacionable con la S<sub>2</sub> de la Formación Silgara, teniendo en cuenta que el carácter intrusivo del Ortoneis en la Formación Silgara, ponen de manifiesto un evento metamórfico común que afectó a las dos unidades. En el Ortoneis, ocasionalmente la biotita forma cúmulos sin orientación preferencial que origina texturas decusadas y al igual que en la formación Silgara, pueden contener inclusiones de zircón que forman halos pleocróicos. Los parámetros de la celda unidad (en Å) de esta biotita son: a = 4.247, b = 10.263, c = 14.454, b=101°90'. Esos parámetros de alto valor podrían estar relacionados con las sustituciones Mg → Fe y Na → K, lo cual podría relacionarse con la naturaleza del protolito, ya que los parámetros b y c son mayores que en la muestra PCM-972.

## QUIMISMO

La composición química de las biotitas metamórficas, como es sabido, es función de parámetros intensivos como la temperatura y la

presión. En la tabla 1 se presentan los análisis químicos representativos de las biotitas estudiadas.

Para clasificar las biotitas se empleó el diagrama Fe / (Fe+Mg) vs Al<sup>IV</sup> (Figura 2). La mayoría de las muestras corresponden a la serie eastonita-siderofilita y sólo dos muestras (PCM-638 y PCM-351) pertenecen a la annita. Los elementos Fe y Ti tienen un significado genético en las biotitas; estos dos elementos presentan una relación directa con respecto a la temperatura. En las rocas metamórficas pelíticas con protolito sedimentario, el contenido de Fe y Ti aumenta con la temperatura; lo cual se puede deducir de la Figura 2 si se observa la distribución de las muestras PCM-19 y PCM-972, las cuales se presentan en rocas pelíticas de la Formación Silgara. El contenido de Fe y Ti es mayor en la muestra PCM-972 (zona de la silimanita) que en la muestra PCM-19 (zona estauroilita-cianita).

La relación Fe / (Fe+Mg) en las biotitas muestra valores entre 0.38 y 0.70 correspondiendo los más altos a biotitas de rocas máficas en las cuales la biotita está asociada a hornblenda y a otros minerales ferromagnesianos; mientras que los más bajos se determinaron en biotitas de rocas en las cuales la biotita es el único mineral máfico o en su defecto, los minerales ricos en Fe como la magnetita.

Las características analizadas de la composición química de la biotita permiten concluir que ésta sólo depende del grado de metamorfismo en las rocas pelíticas derivadas de las rocas sedimentarias. En el caso de las rocas máficas y de cuarzo-feldespáticas, la evolución del quimismo en la biotita está más relacionada con la composición del protolito que con los parámetros de temperatura o presión.

## ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Los espectros infrarrojos permitieron conocer las características composicionales de las biotitas en relación con la vibración de los principales enlaces de este mineral. En la Figura 3 se presentan los espectros infrarrojos de las biotitas analizadas en la región 500 - 4000 cm<sup>-1</sup>.