

## PRIMERA OCURRENCIA DE LOS TRES POLIMORFOS DE $Al_2SiO_5$ EN LAS ROCAS METAPELÍTICAS DE LA FORMACIÓN SILGARÁ, REGIÓN SUROCCIDENTAL DEL MACIZO DE SANTANDER

Ríos Reyes, C. A.<sup>1</sup>; García Ramírez, C. A.<sup>1</sup>

### RESUMEN

En las rocas metapelíticas de la Formación Silgará que afloran en la región suroccidental del Macizo de Santander se reporta por primera vez la ocurrencia de cianita y andalusita, junto con silimanita fibrolítica, aunque esto no es suficiente evidencia para indicar que se encuentran en equilibrio cerca al punto triple de  $Al_2SiO_5$ . En este estudio se describe la ocurrencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  y sus implicaciones petrogenéticas. Estos aluminosilicatos han sido observados en un esquistos pelítico (muestra CAR-23), el cual fue recolectado en la quebrada La Caña, afluente del Río Chicamocha, y forma parte de una zona de transición entre las zonas de la estaurolita-cianita y silimanita del esquema zonal Barroviense que ha sido definido para esta región del macizo. La composición mineral de esta roca está representada por granate, estaurolita, cianita, andalusita, silimanita(fibrolita), biotita, muscovita y cuarzo

**Palabras clave:** *polimorfos; rocas metapelíticas; Formación Silgará; Macizo de Santander; Andes Colombianos.*

### ABSTRACT

In the Silgará Formation metapelitic rocks that crops out in the southwestern region of the Santander Massif is reported for the first time the occurrence of kyanite and andalusite, along with fibrolitic sillimanite, although this is not enough evidence to indicate that they are found in apparent equilibrium near the triple point of  $Al_2SiO_5$ . In this study is described the occurrence of the three polymorphs of  $Al_2SiO_5$  and their petrogenetic implications. These aluminosilicates have been observed in a pelitic schist (sample CAR-23), which was collected in the La Caña stream, tributary of the Chicamocha River, and takes part of a transition zone between the staurolite-kyanite and sillimanite zones of the Barrovian zonal scheme that has been defined for this region of the massif. The mineral composition of this rock is represented by garnet, staurolite, kyanite, andalusite, sillimanite (fibrolite), biotite, muscovite and quartz.

**Keywords:** *polymorphs; metapelitic rocks; Silgará Formation; Santander Massif; Colombian Andes.*

---

<sup>1</sup>Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga (COLOMBIA).  
Correo electrónico: carios@uis.edu.co y cgarciar@uis.edu.co

## INTRODUCCIÓN

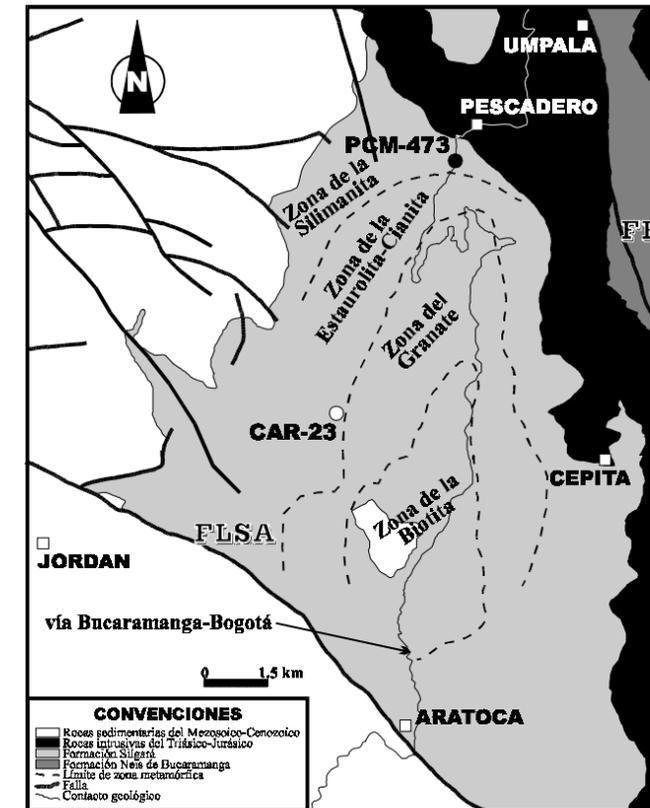
Las condiciones de presión-temperatura (P-T) del equilibrio invariante en el sistema  $Al_2SiO_5$  no están bien definidas, lo cual está relacionado con pequeñas diferencias de energía libre que existen entre cianita, andalusita y silimanita cerca al equilibrio (p.e., Holdaway, 1971). Estudios experimentales realizados acerca del equilibrio de fases entre los polimorfos de  $Al_2SiO_5$  muestran algunas diferencias con respecto a la localización del punto triple de  $Al_2SiO_5$  (p.e., Holdaway, 1971; Newton, 1966a; Newton, 1966b; Bohlen et al., 1991; Hemingway et al., 1991; Pattison, 1992). Por otra parte, Grambling (1981) muestra evidencias geológicas que soportan la coexistencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  en condiciones cercanas al equilibrio en la región de Truchas Peaks al norte de Nuevo México. La persistencia metastable de un polimorfo en el campo de estabilidad de otro polimorfo es un fenómeno muy común debido a que las transiciones polimórficas involucran sólo pequeños cambios en la energía libre, sugiriendo que el agua necesita estar presente en la roca como un solvente y catalizador, aunque no como una especie en la ecuación de reacción estequiométrica (Bucher and Frey, 1994).

Aquí enfocamos nuestra atención sobre la ocurrencia y el significado de los polimorfos de  $Al_2SiO_5$  (cianita, andalusita y silimanita) en la región suroccidental del Macizo de Santander, los cuales constituyen un sistema fundamental para la construcción de una red petrogenética, aunque no existen evidencias petrológicas que soporten la cristalización de estos minerales cerca al equilibrio. Todos los polimorfos de  $Al_2SiO_5$  con frecuencia pueden observarse en una localidad dada, como se reporta aquí, aunque no necesariamente significa que el metamorfismo de las rocas donde ocurren estos aluminosilicatos haya ocurrido bajo condiciones cercanas al punto triple de los aluminosilicatos. El granate y la estaurolita coexisten con estos polimorfos en el área de estudio. En otras regiones del Macizo de Santander se han observado normalmente dos de los tres polimorfos o sólo alguno de ellos. En el área de estudio, Ríos (1999) reporta por primera vez la ocurrencia de

silimanita fibrolítica en un esquistos pelítico cerca al contacto con el Plutón de Pescadero, estableciendo las condiciones de presión (5.5-7.4 kbares) y temperatura (679-697°C) de metamorfismo en la zona de la silimanita, las cuales sin embargo están lejos de las determinaciones experimentales del equilibrio invariante en el sistema  $Al_2SiO_5$  reportadas por algunos autores (p.e., Holdaway, 1971).

## MARCO GEOLÓGICO

El sitio de recolección de la muestra de interés para el presente estudio está localizado en la región suroccidental del Macizo de Santander, aproximadamente a 7.5 km al NW del municipio de Aratoca (véase FIGURA 1). Las rocas metamórficas de la Formación Silgará del Paleozoico Inferior están expuestas allí, con una topografía muy abrupta que alcanza la cota de 1000 m y gracias a la intensa erosión que ha producido la profundización del Cañón del Río Chicamocha, se han descubierto excelentes afloramientos a muchos de los cuales es difícil tener acceso debido a las fuertes pendientes del sector. La Formación Silgará es una secuencia compuesta principalmente por rocas metapelíticas e intercalaciones de rocas metamáficas que forman parte del basamento metamórfico que aflora en la región suroccidental del Macizo de Santander. La parte inferior de la secuencia está compuesta principalmente de cuarcitas y delgadas intercalaciones de esquistos pelíticos y máficos, mientras que la parte superior consta en su mayoría de esquistos y en menor proporción filitas y cuarcitas. La geología regional en la cual se enmarca el área de estudio ha sido descrita en detalle por Ward et al. (1973), y más recientemente gracias al desarrollo de proyectos de investigación y cursos de campo que adelanta la Escuela de Geología, ha sido posible contribuir al conocimiento geológico de esta región del Macizo de Santander, principalmente con respecto al mapeo de isógradas. La principal estructura de carácter regional es la Falla de Bucaramanga de dirección NW y que pone en contacto a esta unidad metamórfica con rocas de la Formación Neis de Bucaramanga. Al SW, cerca de Aratoca, la Formación Floresta del Devónico Medio



**FIGURA 1.** Mapa geológico generalizado de la región suroccidental del Macizo de Santander, modificado de Ward et. al. (1973), mostrando la localización de la muestra con presencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, la cual se indica con un punto blanco. La muestra en la cual Ríos (1999) reporta por primera vez la ocurrencia de silimanita fibrolítica se indica con un punto negro. FB, Falla de Bucaramanga; FLSA, Falla Los Santos - Aratocha.

probablemente suprayace a la Formación Silgará (Ward et al., 1973), la cual está muy plegada y afectada por la Falla Los Santos - Aratocha de dirección NW-SE y está inconformemente suprayacida por una secuencia sedimentaria del Mesozoico. La Formación Silgará también está inconformemente suprayacida por esta secuencia al NW y SW. Intrusivos granitoides de edad Triásico-Jurásico cortan la Formación Silgará al NE y E del área de estudio. No obstante, es común observar localmente pequeños diques de diabasa, así como la presencia de enclaves máficos principalmente en los intrusivos granitoides.

Recientemente se han llevado a cabo varios estudios acerca de la petrología de las rocas metamórficas que afloran en esta región del Macizo de Santander.

Castellanos (1998) y García y Castellanos (1998) llevan a cabo un estudio mineralógico y petrográfico de las rocas metamórficas de la Formación Silgará. Schäfer et al. (1998) reportan por primera vez la ocurrencia de anfibolitas dentro de esta unidad metamórfica, estableciendo un origen magmático para estas rocas, así como las condiciones de presión y temperatura de metamorfismo. Ríos and Takasu (1999) analizan la zonación química del granate en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, determinando el origen de esta zonación con base en la distribución de elementos mayores. No obstante, Ríos (1999) lleva a cabo un estudio detallado acerca de la composición química de las fases minerales presentes en las rocas metamórficas de la Formación Silgará, así como las condiciones de presión y temperatura de metamorfismo. Este autor discute,

entre otros aspectos, cómo la composición química de las rocas metamórficas es dominante y generalmente enmascara los cambios composicionales de los minerales causados por la presión o la temperatura. Por otra parte, este autor concluye que la Formación Silgará ha experimentado una evolución polimetamórfica. García y Ríos (1999) desarrollan un proyecto de investigación con el fin de establecer las condiciones físicas del metamorfismo del Macizo de Santander, definiendo una trayectoria de P-T en sentido horario a través de la cual se efectuó el transporte tectónico de las rocas metamórficas, así como su evolución tectono-metamórfica.

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Las rocas metamórficas de la Formación Silgará en el área de estudio han sido cartografiadas a una escala de 1:10.000, como parte del desarrollo de los cursos de Campo II que adelanta la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. La muestra (CAR-23) objeto del presente estudio fue recolectada en la parte inferior de la Formación Silgará durante el primer semestre de 2000 por algunos de los estudiantes que tomaron parte de este curso de campo, y corresponde a la zona de la estaurólita-cianita. La preparación de la sección delgada para su análisis microscópico se llevó a cabo en el Laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología, mientras que el análisis mineralógico y petrográfico de la muestra se realizó en un microscopio Labophot2-Pol marca NIKON, con el fin de establecer el porcentaje modal de los constituyentes minerales y la paragénesis mineral, haciendo énfasis en las relaciones texturales existentes entre los tres polimorfos, y el material fotográfico fue tomado usando el sistema microfotográfico AFX-DX marca NIKON del Laboratorio de Investigaciones en Geología, con sede en Guatigará. Las abreviaturas minerales son las recomendadas por Kretz (1983).

### OCURRENCIA DE LOS POLIMORFOS $Al_2SiO_5$

Las rocas metapelíticas de la zona de la estaurólita-cianita que afloran en las diferentes regiones del Macizo de Santander en general contienen ya sea dos

de estos polimorfos o algunos de ellos, excepto la muestra objeto del presente trabajo.

Aquí se reporta por primera vez la presencia de los tres polimorfos en la muestra CAR-23 (véase FIGURA 1), la cual está localizada sobre la quebrada La Caña, afluente del Río Chicamocha, a una cota de aproximadamente 675 m al NW de Aratoca. La cianita es el mineral más común de los tres polimorfos en este sector. La evidencia textural indica una secuencia paragenética andalusita @ cianita @ silimanita, con porfidoblastos de granate rodeados por andalusita y cianita, lo cual está soportado en la coexistencia entre andalusita y cianita principalmente, ya que la silimanita al parecer representa una fase tardía durante la historia de crecimiento cristalino, cuya formación ocurre durante una reacción química que ha involucrado el consumo de granate y biotita.

En el área de estudio, la silimanita fibrolítica ha sido primero reportada por Ríos (1999) en la muestra PCM-473 (véase FIGURA 1), aproximadamente 1.5 km al sur de Pescadero, ocurriendo como agregados fibrolíticos en muscovita espacialmente asociados a porfidoblastos de granate, aunque no existe una regularidad en la orientación de los cristales de silimanita, ya que estos cortan la muscovita a diferentes ángulos con respecto a la exfoliación. Este mineral también ocurre como diminutos cristales algunas veces penetrando cristales de cuarzo, los cuales desarrollan embahiamientos en granate, donde este polimorfo de  $Al_2SiO_5$  ocurre también. No obstante, esta ocurrencia podría corresponder a una zona de transición entre la zona de la estaurólita-cianita y la zona de la silimanita.

En la región central del Macizo de Santander se han observado grandes porfidoblastos de andalusita de carácter poiquiloblástico, los cuales están rodeados por numerosos cristales de cianita, mientras que la cianita en algunos casos ha sido reemplazada por silimanita fibrolítica, lo cual soportaría una secuencia de reacción andalusita@ cianita@ silimanita. La cianita es comúnmente reemplazada en sus bordes por muscovita, y en algunos casos es común el desarrollo de pseudomorfos de muscovita después de cianita.

Chinner, G. (1966). The distribution of pressure and temperature during Dalradian metamorphism. Geological Society of London Quarterly Journal, Vol. 122, pp. 159-186.

Chinner, G., Smith, J., Knowles, C. (1969). Transition-metal contents of  $Al_2SiO_5$  polymorphs. American Journal of Science, Vol. 267A, pp. 96-113.

Ferry, J. (1980). A case study of the amount and distribution of heat and fluid during metamorphism. Contributions to Mineralogy and Petrology, Vol. 71, pp. 373-385.

García, C., Castellanos O. (1998). Petrografía de la Formación Silgará en la Cordillera Oriental, Colombia. X Congreso Latinoamericano de Geología, Vol. 2, Buenos Aires, p. 263-268.

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

Grambling, J. (1981). Kyanite, andalusite, sillimanite, and related mineral assemblages in the Truchas Peaks region, New México. American Mineralogist, Vol. 66, pp. 702-722.

Hemingway, B., Robie, R., Evans, H., Jr. & Kerrick, D. (1991). Heat capacities and entropies of sillimanite, fibrolite, andalusite, kyanite and quartz and the  $Al_2SiO_5$  phase diagram. American Mineralogist, Vol. 76, pp. 1597-1613.

Holdaway, M. (1971). Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagram. American Journal of Science, Vol. 271, pp. 97-131.

Kerrick, D. (1987). Fibrolite in contact aureoles of Donegal, Ireland. American Mineralogist, Vol. 72, pp. 240-254.

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

Newton, R. (1966a). Kyanite-sillimanite equilibrium at 750°C. Science, Vol. 151, pp. 1222-1225.

Newton, R. (1966b). Kyanite-andalusite equilibrium from 700° to 800°C. Science, Vol. 153, pp. 170-172.

Pattison, D. (1992). Stability of andalusite and sillimanite and the  $Al_2SiO_5$  triple point: constraints from the Ballachulish aureole, Scotland. Journal of Geology, Vol. 100, pp. 423-446.

Ríos, C. (1999). Chemical Compositions of the Constituent Minerals and P-T Conditions of the Low-grade Silgará Formation Metamorphic Rocks in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. Master Tesis, Shimane University, Matsue (Japan), p. 207.

Ríos, C., Takasu, A. (1999). Chemical zoning of garnet from the low-grade metamorphic rocks of the Silgará Formation, Santander Massif, Eastern Cordillera (Colombian Andes). Geosciences Reports of Shimane University, Vol. 18, pp. 97-107.

Schäfer, J., Grösser, J., Rodríguez, G. (1998). ¿Proterozoic Formación Silgará, Cordillera Oriental, Colombia: metamorphism and geochemistry of amphibolites. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1997 (3-6), Stuttgart, pp. 531-546.

Ward, D. et al. (1973). Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e INGEOMINAS. Boletín Geológico, Vol. XXI, No 1-3.

---

Trabajo recibido: julio 25 de 2001  
Trabajo aceptado: septiembre 5 de 2001

sistema  $Al_2SiO_5$  y, por lo tanto, que dicha trayectoria intercepte el punto triple de  $Al_2SiO_5$ .

El origen de la fibrolita en las rocas metapelíticas de la Formación Silgará en el área de estudio podría explicarse a través de dos mecanismos: (1) a partir de un metamorfismo hidrotermal o (2) a partir de un evento termal.

Según Grambling (1981), los agregados de fibrolita sugieren lugares donde las reacciones que formaron la silimanita ocurrieron más intensamente que en otra parte de las rocas. Estos agregados podrían haberse formado a partir de un metamorfismo hidrotermal inducido por fluidos calientes que migraron a lo largo de canales ahora representados por venas de cuarzo (Ferry, 1980). En el área de estudio numerosas venas de cuarzo ocurren en la zona de la estaurolita-cianita a lo largo de una franja, la cual podría estar asociada a una zona de cizallamiento progresivo (Mantilla, L., comunicación oral) que al parecer ha contribuido a la disolución de grandes volúmenes de cuarzo que ocurren en niveles de cuarcita, abundantes en la parte inferior de la Formación Silgará, dando lugar a la formación de fluidos de origen metamórfico que migraron hacia arriba desde niveles estructurales más profundos.

Por otra parte, el proceso de fibrolitización en una etapa tardía es un fenómeno que ha sido propuesto en varios estudios llevados a cabo en rocas pelíticas metamorfoseadas regionalmente (p.e., Chinner, 1966). La fibrolita es una variedad acicular de silimanita de grano fino, la cual, según Holdaway (1971), se ha formado metastablemente a través de una rápida cristalización que produce un posible desorden Al-Si y exceso de sílice en este mineral. En nuestro caso, la formación de fibrolita podría ocurrir a través de una reacción química que ha involucrado la descomposición de granate y biotita y, por lo tanto, el proceso de fibrolitización no debe considerarse como una transformación polimórfica. De acuerdo con Kerrick (1987), la fibrolitización es un proceso que ocurre durante las etapas tardías de un evento termal, y establece cómo un mecanismo de formación de la fibrolita podría ser debido a la descomposición de la biotita a partir de la reacción:

$$2K(Mg_xFe_{1-x})AlSi_3O_{10}(OH)_2 + 14HCl = Al_2SiO_5 + 5SiO_2 + 2KCl + 6(Mg_xFe_{1-x})Cl_2 + 9H_2O$$

y la formación de la fibrolita estaría favorecida por la alta actividad del HCl ( $a_{HCl}$ ), el cual podría haber evolucionado de la cristalización de magmas graníticos.

Por lo tanto, tomando en cuenta las consideraciones arriba señaladas, habría que tener en cuenta el efecto que ha producido el Granito de Pescadero sobre el metamorfismo regional definido para el área de estudio, ya que es muy probable que un evento termal pueda haber sido superimpuesto a este metamorfismo, y quizás haya contribuido al fenómeno de fibrolitización.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros agradecimientos a Carlos Torres, Felix Zipamoncha y José Contreras por la recolección del material geológico de interés para el presente estudio, quienes tomaron parte del curso de Campo II desarrollado durante el primer semestre de 2000, así como a Jaime Gelvez y Robert Marquez por la elaboración de la sección delgada.

## REFERENCIAS

- Bohlen, S., Montana, A. & Kerrick, D. (1991). Precise determinations of the equilibria kyanite=sillimanite and kyanite=andalusite, and a revised triple point for  $Al_2SiO_5$  polymorphs. *American Mineralogist*, Vol. 76, pp. 677-680.
- Bucher, K., Frey, M. (1994). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Complete revision of Winkler's textbook*. Springer. Berlín, p.318.
- Castellanos, O. (1999). Estudio Mineralógico y Petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca (Santander). Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia), p.136.

En la región oriental el polimorfo más común es la silimanita, aunque también se reporta por primera vez la ocurrencia de cianita como relictos corroídos en muscovita (García, C. y Gutiérrez, C., comunicación oral).

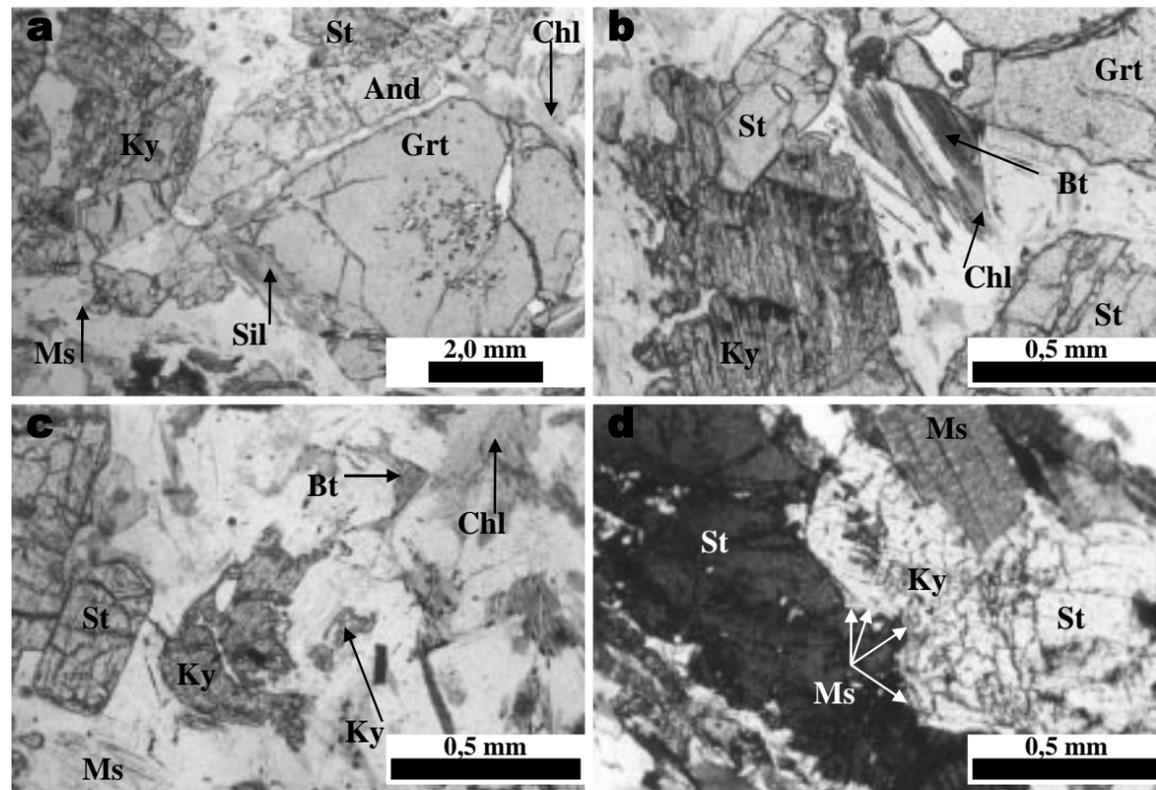
## PETROGRAFÍA

La roca metapelítica con presencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  corresponde a un esquistosidad pelítica, el cual está compuesto de cuarzo, plagioclasa, muscovita, biotita, cianita, andalusita, estaurolita, como minerales principales, con subordinada cantidad de silimanita, granate y minerales opacos. Los minerales accesorios son turmalina, apatito y circón, mientras que la clorita y sericita ocurren como minerales secundarios. La foliación está definida por la orientación preferencial de la muscovita. Porfidoblastos de granate distinguibles a simple vista, están rodeados por estos aluminosilicatos, apareciendo la silimanita fibrolítica en el borde de estos porfidoblastos. La FIGURA 2 ilustra algunos de los rasgos petrográficos que son típicos de esta roca metapelítica, en la cual ocurren los polimorfos de  $Al_2SiO_5$  (cianita, andalusita y silimanita). Los resultados del análisis mineralógico y petrográfico de la muestra con presencia de los aluminosilicatos se describe a continuación.

La andalusita (7%) se reporta aquí por primera vez (FIGURA 2a), y ocurre en cristales prismáticos, incoloros, de carácter subidioblástico y xenoblástico, con diferente orientación. El tamaño de grano varía entre 0.35 y 0.65 mm en cristales de contorno irregular, mientras que en cristales subidioblásticos pueden alcanzar hasta 1.20 mm de ancho y 2.50 mm de longitud. Este mineral está asociado a cianita y granate. La relación con la estaurolita es más compleja, ya que algunas veces la andalusita parcialmente rodea a la estaurolita o viceversa. Los bordes de la andalusita son más irregulares que aquellos de la cianita, muchas veces debido a que la sericita está reemplazándola. Este polimorfo algunas veces aparece rodeando porfidoblastos de granate. La cianita (12%) también se reporta aquí por primera vez (FIGURA 2a), y ocurre en cristales de carácter subidioblástico a xenoblástico que varían de tamaño

entre 0.15 y 0.88 mm de ancho y entre 0.38 y 1.63 mm de longitud, mostrando alto relieve, exfoliación bien desarrollada y marcada, y partición basal perpendicular al clivaje que genera un aspecto fragmentado. La cianita se concentra en los dominios de microlitones y está asociada a estaurolita en contacto neto o penetrando algunos cristales de este mineral (FIGURA 2b). Este mineral está asociado con la andalusita sin que existan evidencias de reacción entre estos dos minerales. Una gran parte de la cianita está siendo reemplazada por sericita, proceso que ocurre del borde al núcleo del mineral, y que podría involucrar al cuarzo como producto de la reacción. El grado de alteración de la cianita es variable, y en algunos casos sólo se observan relictos corroídos de cianita en masas sericíticas o incluso en cristales de muscovita (FIGURA 2c). Es común observar inclusiones de biotita, muscovita y cuarzo en este polimorfo. La silimanita fibrolítica (1%) es el polimorfo menos abundante. La fibrolita, la cual representa la primera aparición de este polimorfo en la paragénesis mineral, ocurre en el borde de algunos porfidoblastos de granate desarrollando agregados fibrolíticos en los cuales es posible observar relictos de biotita cloritizada (FIGURA 2a). Este mineral también aparece penetrando granos de cuarzo.

El granate (5%) ocurre como porfidoblastos de carácter xenoblástico, asociados a silimanita y altamente cloritizados en sus bordes (FIGURA 2a). Éste se caracteriza por presentar un núcleo rico en inclusiones de cuarzo y minerales opacos que definen un patrón de esquistosidad interna, y un borde sin inclusiones. No se observa desarrollo de sombras de presión. La estaurolita (11%) ocurre como porfidoblastos de carácter xenoblástico y elongado, de tamaño variable, los cuales muestran pleocroísmo amarillo a amarillo pálido y relieve alto (FIGURA 2a,b,c). Se presenta en los dominios de microlitones asociada a cianita y andalusita, como se describió anteriormente. En algunos casos la estaurolita presenta inclusiones de cuarzo y minerales opacos, las cuales definen un patrón de esquistosidad interna en la misma dirección que aquel definido en el granate. Este mineral está siendo reemplazado por clorita y sericita a lo largo de fracturas irregulares. La biotita (4%) ocurre en cristales de aspecto hojoso,



**FIGURA 2.** Rasgos petrográficos en una roca metapelítica de la Formación Silgará con presencia de cianita, andalusita y silimanita, región suroccidental del Macizo de Santander. (a) Ocurrencia de los tres polimorfos de  $Al_2SiO_5$  asociados con granate y estaurolita. Microfotografía en nicoles paralelos. (b) Estaurolita parcialmente incluida en cianita y biotita parcialmente cloritizada en contacto con granate. Microfotografía en nicoles paralelos. (c) Cianita alterada en sus bordes a sericita o formando relictos corroídos rodeados por muscovita. Microfotografía en nicoles paralelos. (d) Cianita parcialmente incluida en estaurolita. Note la presencia de muscovita como producto de reacción entre estos minerales. Microfotografía en nicoles cruzados.

de carácter subidioblástico a xenoblástico, exhibe perfecta exfoliación basal y pleocroísmo, aunque se encuentra comúnmente cloritizada (FIGURA 2b), y está asociada a muscovita y granate en los dominios de microlitones ( $S_{n+1}$ ) y a cuarzo y muscovita constituyendo la esquistosidad externa  $S_{n+2}$  que rodea estos dominios. Este mineral podría haber jugado un papel importante en la formación de fibrolita. La muscovita (35%) exhibe perfecta exfoliación basal y apariencia moteada cerca a la posición de extinción (FIGURA 2d) y se presenta ya sea en los dominios de microlitones ( $S_{n+1}$ ) o desarrollando la esquistosidad externa  $S_{n+2}$  que rodea estos dominios. La muscovita de los microlitones ocurre en cristales de carácter idioblástico a subidioblástico y aspecto tabular a

hojoso, los cuales están orientados al azar, desarrollando en algunos sectores una textura decusada, y esta asociada a cuarzo, cianita, andalusita y biotita en contactos netos. La muscovita que forma la esquistosidad externa ocurre en cristales de carácter subidioblástico y elongado, y está asociada a cuarzo y biotita.

El cuarzo (20%) aparece en microlitones y ocurre como agregados de individuos de carácter xenoblástico, algunas veces con inclusiones de silimanita (fibrolítica) o incluidos en granate, estaurolita, andalusita y cianita. También se presenta como producto de la reacción entre cianita y andalusita:  $Ky + And = Ms + Qtz$ . La plagioclasa

(5%) ocurre en cristales de carácter subidioblástico, los cuales se observan casi completamente reemplazados por sericita.

## METAMORFISMO

Las rocas metamórficas de la Formación Silgará han sufrido un polimetamorfismo, el cual está reflejado no sólo en su carácter estructural, con desarrollo progresivo de tres superficies de esquistosidad producidas durante tres eventos de deformación (Ríos, 1999), sino también en la zonación química del granate (Whitney, D. y Spear, F., comunicación oral), lo cual ha sido recientemente corroborado con base en algunas discontinuidades en la distribución de Ca que son observadas en la zonación química del granate. Esta unidad metamórfica está caracterizada por un engrosamiento cortical desde el tiempo de acumulación de su protolito y por un extenso metamorfismo retrógrado después del pico térmico de metamorfismo.

Ríos (1999) ha definido para el área de estudio un metamorfismo de tipo Barroviense, con desarrollo de cuatro zonas de metamorfismo (biotita, granate, estaurolita y silimanita). No obstante, en el presente trabajo, se reporta por primera vez la paragénesis estaurolita-cianita, lo cual define una zona de la estaurolita-cianita en lugar de una zona de la estaurolita. Por otra parte la presencia de la silimanita indicaría más una zona de transición que la zona de la silimanita propiamente dicha. El grado de metamorfismo aumenta hacia el norte y en dirección este y oeste desde el sector de la Mesa de San Pedro, en donde ocurren rocas de bajo grado de metamorfismo que están suprayacidas discordantemente por una secuencia sedimentaria, y que representa el eje de la estructura térmica que ha sido revelada gracias a la intensa erosión que ha ocurrido en esta región. Las rocas consideradas en este estudio corresponden a la zona de la estaurolita-cianita y, al igual que en otras regiones del Macizo de Santander, es difícil diferenciar zonas metamórficas, dependiendo de cual de los polimorfos de  $Al_2SiO_5$  está presente, ya que la aparición de estos minerales es escasa.

Edades K-Ar en hornblenda de  $413 \pm 30$  Ma (metadiorita), K-Ar en muscovita de  $457 \pm 13$  Ma (pegmatita en la Formación Neis de Bucaramanga), y Rb-Sr en roca total de  $450 \pm 80$  Ma (granito néisico) sugieren un evento magmático durante el Ordovícico tardío o Silúrico temprano, y el metamorfismo de la Formación Silgará pudo haber ocurrido durante este tiempo (Goldsmith et al., 1971). La Formación Silgará de edad Paleozoico Inferior infrayace discordantemente a la Formación Floresta, la cual representa una secuencia no metamorfizada que contiene evidencia fósil que sugiere una edad Devónico Medio. Edades K-Ar en roca total de  $221 \pm 8$  Ma y  $198 \pm 8$  Ma en filitas de la Formación Silgará reportadas por Goldsmith et al. (1971) no datan el metamorfismo sino probablemente reflejan un evento termal tardío. Recientemente, Schäfer et al. (1998) suponen una edad Proterozoica(?) para la Formación Silgará y que su metamorfismo sería más viejo que 504 Ma con base la edad de algunos granitoides que intruyen esta secuencia metamórfica.

## DISCUSIÓN

Una parte de la secuencia metapelítica de la Formación Silgará en la región suroccidental del Macizo de Santander preserva evidencia de la ocurrencia de los polimorfos de  $Al_2SiO_5$ . No obstante, es claro que los polimorfos andalusita y cianita coexisten y podrían estar en equilibrio químico, mientras que la silimanita se ha formado en una etapa tardía a partir de biotita y posiblemente involucrando granate en la reacción. La coexistencia andalusita + cianita probablemente refleja la transformación polimórfica andalusita + cianita, y la andalusita se considera como una fase metaestable durante el posterior evento de formación de la cianita. Estos dos polimorfos pueden interpretarse en este caso como relictos de las condiciones pre-pico de metamorfismo, preservando evidencia textural del metamorfismo a lo largo de la trayectoria de P-T propuesta por García y Ríos (1999) para el Macizo de Santander. No obstante, es difícil deducir que la roca con presencia de los polimorfos de  $Al_2SiO_5$  haya sido sometida a un metamorfismo bajo condiciones de presión y temperatura cercanas al equilibrio invariante en el