

## RELACIÓN ENTRE LAS METAMORFITAS DE ALTO Y BAJO GRADO EN EL SUR DEL VALLE DE ABURRÁ, ANTIOQUIA

---

---

*Luis Fernando Montes y Jorge Julián Restrepo*  
*Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT*  
*Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín*  
*lmontes@eafit.edu.co, jjrestrepa@fastmail.fm*

Recibido para evaluación: 21 de Junio de 2005 / Aceptación: 26 de Octubre de 2005 / Recibida versión final: 15 de Noviembre de 2005

### RESUMEN

En el sur del Valle de Aburrá aflora una secuencia de rocas de metamorfismo barroviario cuyas facies varían en sentido W-E desde esquisto verde, zonas de biotita y granate, a facies anfíbolita, zonas de estaurolita y sillimanita. Se reportan por primera vez in situ los esquistos con granate y estaurolita que habían sido identificados únicamente como rodados en las quebradas La Romera y La Miel (Caldas), una franja de cuarcitas micáceas en la cuenca de la quebrada La Ayurá y la presencia de sillimanita (fibrolita) en los porfidoblastos de andalucita de los esquistos cuarzo micáceos con grafito que afloran en la parte baja de la quebrada La Doctora (Sabaneta). El protolito corresponde a una secuencia pelítica con material ígneo intercalado que fue sometida a un metamorfismo de tipo bórico de media presión seguido por uno de baja presión, definidos ambos en metapelitas, el primero por la presencia de granate (posiblemente almandino) y estaurolita, y el segundo, por la de andalucita y biotita. Luego hubo una fase tectónica posterior a la cristalización de la andalucita y de la última biotita, la cual produjo una esquistosidad de crenulación. Los eventos metamórficos probablemente ocurrieron durante la orogenia permo-triásica según las dataciones disponibles, aunque no se pueden descartar eventos más antiguos.

**PALABRAS CLAVES:** Grado de Metamorfismo, Facies Metamórficas, Tipo Bórico, Orogenia Permo-Triásica, Cordillera Central de Colombia

### ABSTRACT

A continuous sequence in which the metamorphic grade increases eastward from low to medium grade to the east of the town of Caldas and the Ancón Sur, to high grade in La Ayurá creek, was identified in the southern part of the Aburrá Valley, where the city of Medellín is located. This sequence follows a Barrovian zonation scheme from west to east, from greenschist facies, biotite and garnet zones, to amphibolite facies, staurolite and sillimanite zones. Garnet - staurolite micaschists traditionally reported as pebbles in La Romera and La Miel (Caldas) creeks were found in situ for the first time during the development of this work. Also reported for the first time is a mica-quartzite unit in the La Ayurá basin and the presence of fibrolite within andalusite porphyroblasts in graphite-bearing micaschists in the lower basin of La Doctora creek. The metamorphic sequence has both medium and low pressure characteristics, such as the presence in the metapelites of staurolite and garnet, probably almandine, and andalusite, respectively. The protolith of these rocks is interpreted as a sedimentary sequence with interbedded mafic igneous material which underwent medium-pressure metamorphism and then a superimposed low-pressure metamorphism. After crystallization of andalusite porphyroblasts and part of the biotite, another tectonic phase took place, producing a crenulation cleavage. According to available radiometric ages, these metamorphic events may have taken place during a Permo-Triassic orogeny, but older events cannot be discarded.

**KEY WORDS:** Metamorphic Grade, P/T Ratio, Metamorphic Facies, Permo-Triassic Orogeny, Central Cordillera of Colombia

## 1. INTRODUCCIÓN

En jurisdicción de los municipios de Sabaneta, Envigado, Caldas y El Retiro, al sur de la ciudad de Medellín, (sur del Valle de Aburrá, Antioquia) (Figura 1) afloran rocas metamórficas que hacen parte del basamento cristalino de la Cordillera Central y que han sido estudiadas por diferentes autores (e.g. Botero, 1963; Echeverría, 1973, González, 1980; Restrepo y Toussaint, 1984, Restrepo, 1986; Maya y Escobar, 1985). Estratigráficamente se han denominado Grupo Ayurá Montebello (Botero, 1963), Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central (Restrepo y Toussaint, 1984) y Complejo Cajamarca (Maya y González, 1995). Otros nombre informales para estas rocas son Esquistos sericíticos de Ancón y Paragneises de Las Palmas y La Ayurá (Restrepo y Toussaint, 1984; Restrepo, 1986).

Las rocas predominantes corresponden a esquistos micáceos con cantidades variables de cuarzo y grafito, cuarcitas micáceas, anfibolitas, gneises y migmatitas biotíticas con granate y sillimanita. Estas rocas presentan asociaciones minerales pertenecientes a las facies esquistos verde (zonas de biotita y granate) por un lado y anfibolita (zonas de estauroлита y sillimanita) por el otro y a tipos báricos tanto de media como de baja presión (e.g. Restrepo y Toussaint, 1984; Maya y Escobar, 1985).

Las marcadas diferencias encontradas en el grado de metamorfismo entre estos dos grupos de metasedimentos llevaron a autores como González (1980), Restrepo y Toussaint (1984), Maya y Escobar (1985) y Restrepo (1986) a plantear que su contacto debía ser de tipo discordante o tectónico. A favor del primero, González (1980) describe al sur de El Retiro un cuerpo de cuarcitas de bajo grado que reposa discordantemente sobre migmatitas, mientras que Maya y Escobar (1985) y Guarín (1988) encuentran un contacto fallado entre las unidades de alto y bajo grado en la zona de la Quebrada La Doctora (Sabaneta) y al Este de Montebello, respectivamente.

La diferencia de opiniones entre diferentes autores sobre el contacto entre las rocas de alto y bajo grado llevaron a Montes (2003) a estudiar en su trabajo de grado una zona de aproximadamente 50 km<sup>2</sup> en la que afloran ambos tipos de rocas. La zona cubre, en sentido E-W: la margen izquierda de la cuenca de la quebrada La Ayurá (Envigado), la cuenca de la quebrada La Doctora (Sabaneta), el Alto de La Romera y el oriente del municipio de Caldas y en sentido N-S, desde el Ancón Sur hasta la cuenca de las quebradas La Romera y La Miel (Envigado). Los resultados obtenidos por Montes (2003) se presentan en este artículo. Debe aclararse que la zona SW presentada en el mapa geológico del área de estudio (Figura 2), y que comprende el sector de las quebradas La Miel (Caldas) y La Tablacita, no fue estudiada en detalle, siendo tomadas la cartografía de las unidades (Gneis de La Miel y Esquistos Moscovíticos) y sus contactos de Maya y Escobar (1985).

## 2. UNIDADES LITOLÓGICAS

La zona estudiada está compuesta predominantemente por rocas metasedimentarias que suprayacen ortoanfíbolitas diopsídicas; también se encuentra un pequeño cuerpo de serpentinitas y afloramientos ocasionales de metapegmatitas; hacia las partes medias y bajas de las laderas, estas unidades están cubiertas por depósitos de vertiente y aluviales, respectivamente (Figura 2). Dentro de las rocas metasedimentarias se pueden diferenciar varios tipos:

1) *Esquistos cuarzo micáceos con grafito*: predominan en el Ancón Sur, el Alto de La Romera y las cuencas de las quebradas La Romera y La Doctora. La mineralogía prógrada corresponde a cuarzo, moscovita, biotita y grafito; también aparecen porfídoblastos de granate y/o andalucita (ocasionalmente variedad quíastolita). Debido a la variación en el contenido de grafito o cuarzo, estas rocas gradan a esquistos grafitosos y a cuarcitas micáceas. Sus relaciones de campo indican que estas variaciones litológicas conforman paquetes concordantes cuyos espesores varían desde decenas hasta cientos de metros y en los cuales las foliaciones son muy similares (N 38-56 W/ 42-47 SW). Otras litologías incluidas en este grupo son: esquistos con granate y/o andalucita y esquistos con granate y estauroлита.

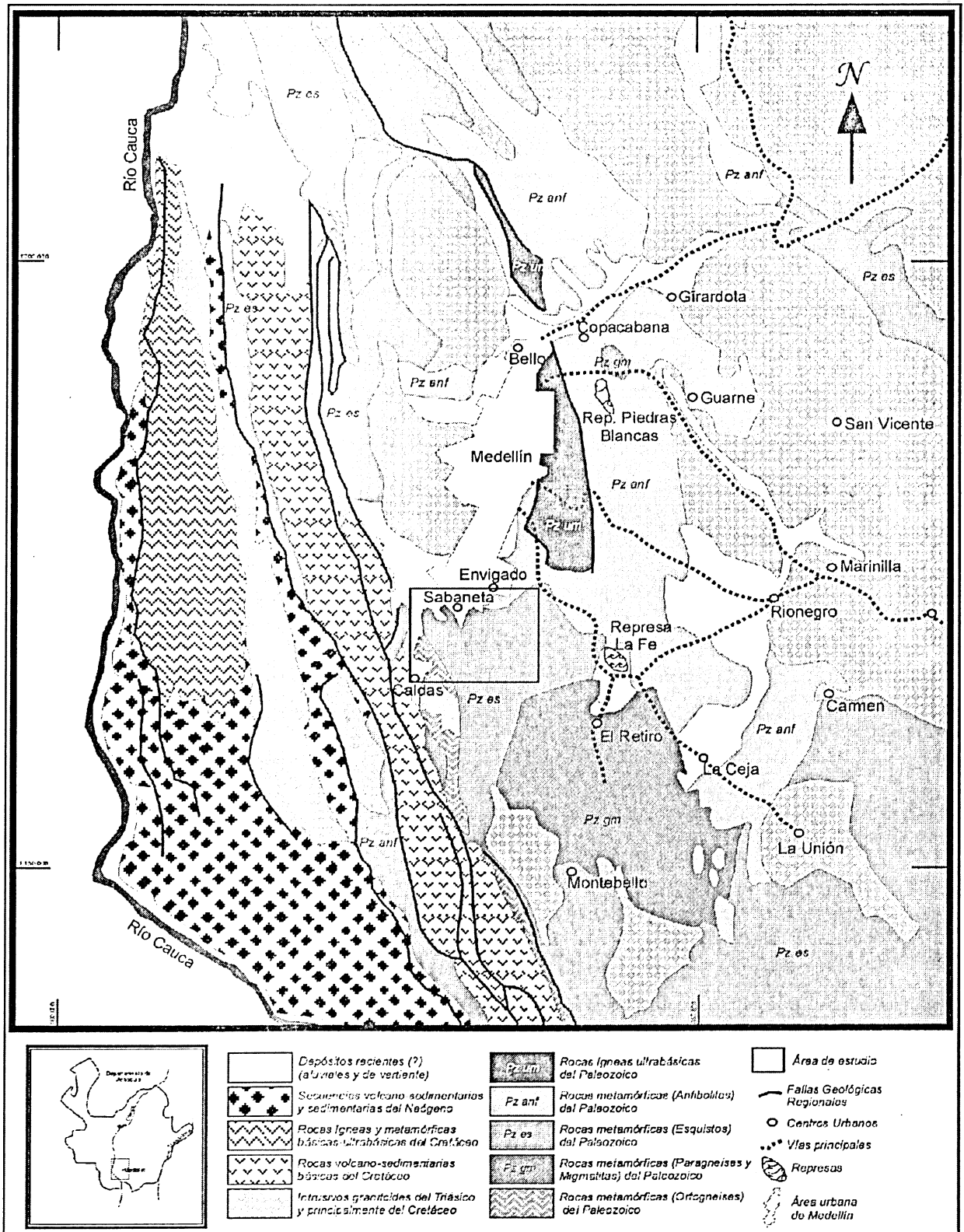


FIGURA 1. Mapa geológico generalizado de los alrededores de Medellín. Modificado de Ingeominas (2001).

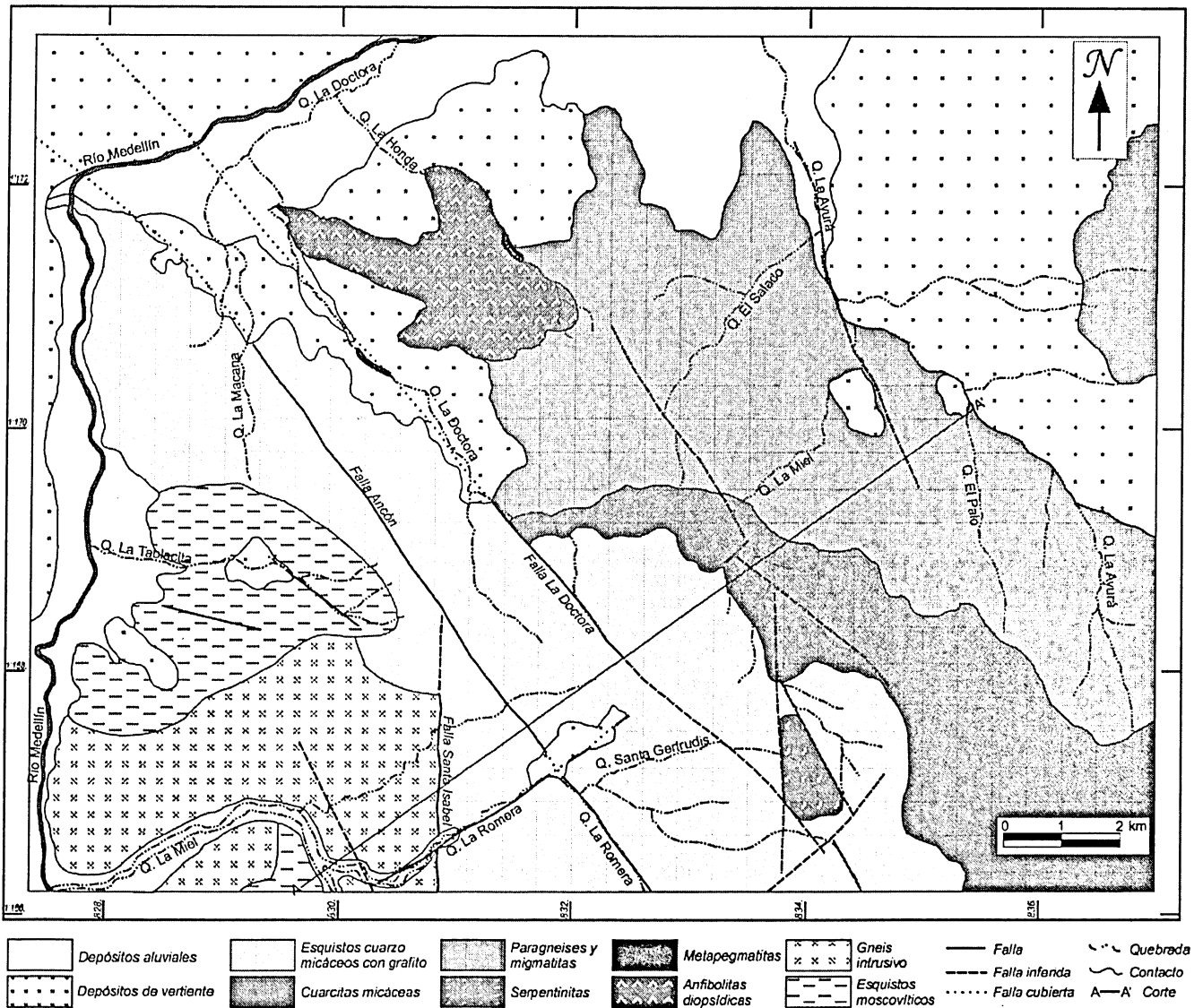


FIGURA 2.

Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Montes (2003). El corte AA' es mostrado en la Figura 3. La cartografía y las relaciones del Ortogneis de La Miel y los Esquistos Moscovítico son tomadas totalmente de Maya y Escobar (1985)

Los esquistos con granate y estaurólita, descritos en trabajos anteriores sólo como rodados en las quebradas La Romera y La Miel (Caldas) (Maya y Escobar, 1985; Restrepo, 1986), fueron encontrados *in situ* por primera vez durante este estudio, en afloramientos ubicados en el sector del Alto de La Romera y la quebrada Santa Gertrudis (afluente de la quebrada La Romera). Así mismo, una franja de cuarcitas micáceas fue cartografiada en la parte media de la vertiente occidental de la cuenca de la quebrada La Ayurá (Figura 2); esta franja de cuarcitas aparece entre los esquistos con granate y estaurólita y los paragneises biotíticos y migmatitas descritos a continuación.

2) *Paragneises y Migmatitas*: predominan en las partes media y baja de la vertiente izquierda de la cuenca de la quebrada La Ayurá, y de allí se encuentran nuevamente en las vías Las Palmas y El Escobero. La roca típica es un gneis biotítico con porfidoblastos de sillimanita y granate, en el cual la presencia de grafito puede llegar a ser importante. Las migmatitas son principalmente de tipo estromático, aunque también se pueden encontrar plegadas y flebíticas, según la clasificación de Mehnert (1971). Las relaciones de campo entre estas dos litologías sugieren una mezcla íntima entre ellas, lo que impide que puedan ser cartografiadas independientemente. En las muestras de mano el aspecto de las migmatitas con menor contenido de material de aspecto granítico es muy semejante al de los esquistos cuarzo micáceos con granate y/o estauroлита, lo que permite suponer que estas rocas de más alto grado se formaron a partir de la fusión parcial de estos.

Además de las rocas con protolito sedimentario también hay rocas metaígneas, en particular anfibolitas, metapegmatitas y serpentinitas. Asociadas comúnmente a las metapelitas se encontraron anfibolitas saussuríticas en paquetes concordantes de espesor decamétrico y cuyas foliaciones son sub-paralelas. En límites de los municipios de Envigado y Sabaneta se encontró un cuerpo de anfibolitas diopsídicas en contacto con migmatitas, en aparente contacto fallado (vereda La Tuna del municipio de Sabaneta). Aunque no se dispone de análisis químicos de las anfibolitas, las características mineralógicas y microestructurales, en especial la abundancia de esfena, parecen corresponder a las Anfibolitas de Medellín de Correa et al. (2005)

Otras rocas que afloran en contacto con la secuencia son serpentinitas y metapegmatitas. Hacia la parte alta de la quebrada Santa Gertrudis (Sector del Alto La Romera), se encontró un cuerpo de serpentinitas cuyos contactos son aparentemente fallados con la unidad de esquistos con granate y estauroлита. Esta unidad parece ser la exposición más sur del cuerpo de Dunitas de Medellín (Botero, 1963; Restrepo y Toussaint, 1984). Las metapegmatitas corresponden a intrusiones que fueron deformadas después de su emplazamiento en las otras rocas metamórficas, aunque se desconoce a qué cuerpos ígneos puedan estar relacionados y el momento de su deformación. Presentan una mineralogía prógrada de microclina, plagioclasa, cuarzo, moscovita, biotita y accesorios esfena, circón y opacos; en ellas son frecuentes las texturas de desmezcla y las deformaciones en los cuarzos (extinción ondulatoria y cuarzo en cintas o "ribbon").

Hay que destacar que las rocas de la parte SW del mapa de la Figura 2 no fueron estudiadas en detalle en este estudio, aunque Maya y Escobar (1985) presentan buenas descripciones. Los esquistos moscovíticos que afloran en el sector de La Tablacita son muy diferentes a los descritos aquí como esquistos cuarzo micáceos con grafito, ya que los primeros poseen una moscovita grueso-granular y no contienen grafito, a diferencia de los segundos en los cuales mesoscópicamente no es posible distinguir las escamas de micas y el grafito es suficientemente abundante como para impartirle un color grisáceo a la roca. La otra unidad encontrada allí es el Gneis de La Miel, considerado por Sepúlveda y Saldarriaga (1980) como un ortogneis. El contacto del Gneis de La Miel con los esquistos cuarzo micáceos con grafito es de carácter tectónico a lo largo de una falla denominada de Santa Isabel (Patiño y Noreña, 1984). Así, las rocas localizadas al occidente de la falla –el Gneis de La Miel y los esquistos moscovíticos– podrían representar una secuencia diferente a la descrita aquí, como parecen indicarlo las edades radiométricas que se discutirán más adelante.

### 3. RELACIONES DE CAMPO, FACIES Y TIPO BÁRICO

Las rocas metasedimentarias y paquetes de anfibolitas saussuríticas intercaladas están dispuestas en franjas irregulares alargadas en sentido NW-SE, desde la zona de la variante de Caldas hasta la margen izquierda de la quebrada La Ayurá (Figura 2). Dentro de estas franjas los contactos entre las rocas son concordantes y corresponden a transiciones por variación mineralógica entre las diferentes litologías o a contactos netos que reflejan cambios bruscos en la composición del protolito (Figura 3). Algunos contactos son fallados, pero como se verá más adelante, esta es una característica local asociada a la presencia de discontinuidades estructurales que se superpusieron a las relaciones originales.

Las relaciones de campo y las asociaciones mineralógicas prógradas encontradas indican que las rocas metasedimentarias conforman una secuencia continua en la cual las facies varían en sentido W- E, pasando de facies esquistos verde, zonas

de biotita y granate (Ancón Sur, variante de Caldas y la parte media de la quebrada La Romera) a facies anfíbolita, zona de estaurólita (Alto de La Romera, quebrada Santa Gertrudis y cabecera de la quebrada La Miel de Envigado) y zona de sillimanita (parte media y baja de la vertiente izquierda de la quebrada la Ayurá). La zona de cianita estaría ubicada aproximadamente en la franja de cuarcitas descrita en la parte media de vertiente izquierda de la cuenca de la quebrada La Ayurá y específicamente en las partes altas de sus afluentes las quebradas La Miel (Envigado), El Salado y El Palo. En este trabajo no se encontró cianita, tal vez por ser el protolito muy cuarzos, aunque es posible que en muestreos más detallados este mineral se pueda llegar a encontrar.

Esta variación de facies muestra de igual forma que el grado de metamorfismo aumenta en sentido W-E, pasando del bajo a medio grado en el sector del Ancón Sur, variante de Caldas y quebrada La Romera (esquistos cuarzo micáceos con granate y/o andalucita) al alto grado en la cuenca de la quebrada La Ayurá (paragneises biotíticos y migmatitas). El medio grado estaría representado por los esquistos con granate y estaurólita que afloran en la parte alta de las quebradas La Miel (Envigado) y Santa Gertrudis.

Dentro de los porfidoblastos de andalucita de los esquistos cuarzo micáceos con grafito que afloran en la parte baja de la quebrada La Doctora (Sabaneta) (Figura 2) se encontraron cristales de sillimanita variedad fibrolita. Aunque en el Ancón Sur y la variante de Caldas la fibrolita no ha sido descrita, es muy probable que el sector del Oriente de Caldas pertenezca a la transición del bajo al medio grado y no al bajo grado como lo plantearon, entre otros, Maya y Escobar (1985).

Esta secuencia de rocas presenta características tanto de media como de baja presión, tal y como lo sugirieron trabajos anteriores (e.g. Sepúlveda y Saldarriaga, 1980, Maya y Escobar, 1985, Restrepo, 1986, entre otros). La media presión está marcada en las metapelitas por la presencia generalizada de granates y estaurólita, características asociadas con un tipo bórico de media presión (Miyashiro, 1994, p. 207). El tipo bórico de baja presión estaría representada por la aparición de andalucita en los esquistos cuarzo micáceos con grafito, esquistos micáceos con granate y estaurólita y paragneises y migmatitas biotíticas. Las características microestructurales muestran que el metamorfismo de media presión antecedió al de baja, ya que los granates son anteriores a la formación de la andalucita. En la secuencia de tipo bórico de baja presión los granates aparecen por primera vez sólo en la zona de sillimanita-moscovita, pero no en la de andalucita (Miyashiro, 1994, p. 206); así los granates de las rocas de baja y medio grado deben haberse formado en el evento de media presión, aunque los que aparecen en las rocas de alto grado podrían pertenecer a cualquiera de los dos tipos bóricos.

#### 4. ESTRUCTURAS

Las rocas metamórficas presentan en muestra de mano y en afloramiento una foliación definida por bandeo composicional y esquistosidad marcada por las micas, la cual está afectada por plegamientos de orden métrico a centimétrico. En sección delgada las metapelitas (especialmente los esquistos cuarzo micáceos con grafito y sus variaciones) presentan microestructuras polifásicas: hay una esquistosidad predominante  $S_{n+2}$  marcada por las moscovitas y biotitas y que fue formada por deformación de una esquistosidad anterior  $S_{n+1}$ , la cual aparece como pliegues intrafoliares. Un tercer evento deformativo se presenta como crenulación de  $S_{n+2}$ . Con base en el análisis microestructural se determinó que el crecimiento de los porfidoblastos de granate en los esquistos cuarzo micáceos con grafito se dio durante la primera fase ( $S_{n+1}$ ) y posiblemente en la segunda ( $S_{n+2}$ ), mientras que la de los porfidoblastos de andalucita, de estaurólita y parte de la biotita son intertectónicos entre la segunda y la tercera fase tectónica.

En las anfíbolitas saussuríticas, las cuarcitas micáceas y los paragneises y migmatitas se observa una sola esquistosidad que es equivalente a la  $S_{n+2}$  de las metapelitas; esta equivalencia se basa en la semejanza que se observó en campo entre las foliaciones de las rocas y en el análisis de densidad de polos. El hecho de que no se haya observado una esquistosidad  $S_{n+1}$  en las rocas de alto grado podría deberse a que no habría habido minerales "testigos" que conservaran dicha esquistosidad, más bien que a no compartir historias semejantes.

El momento del crecimiento de los porfidoblastos de granate en los paragneises y migmatitas no es claro debido a que no conservan en ninguno de los casos observados inclusiones orientadas relacionables con la esquistosidad de la roca; por otro lado, y al igual que en los esquistos cuarzo micáceos con grafito, la cristalización de la andalucita en los paragneises y migmatitas fue posterior a la esquistosidad dominante, que como se dijo anteriormente, es equivalente a la  $S_{n+2}$  de los esquistos.

El área de estudio está atravesada por varios lineamientos y fallas en una tendencia predominante NW. Las fallas han sido denominadas informalmente como (Figura 2):

**Falla Ancón:** identificada inicialmente por Toro y Velásquez (1984) como un fallamiento inferido en sentido NW y descrita por Maya y Escobar (1985) como una estructura en sentido  $N30^{\circ}-40^{\circ}W$ /subvertical-70 SW. Es una estructura que corre subparalela a la falla La Doctora desde la parte alta de la quebrada La Romera hasta el Ancón sur, pero cuya traza es difusa y se marca solamente por algunas silletas y pequeños controles del cauce en afluentes de la vertiente izquierda de la quebrada La Doctora.

**Falla La Doctora:** descrita por Maya y Escobar (1985) como una estructura que controla tramos amplios de la quebrada La Doctora, desde su nacimiento en el Alto La Romera hasta su parte baja en Sabaneta. Durante este trabajo se pudo determinar que la falla La Doctora no es una estructura regional que, a lo largo de toda su extensión, ponga en contacto rocas con grado metamórfico diferente, tal y como lo plantearon Maya y Escobar (1985). Esta falla corresponde realmente a una estructura menor que localmente determina el contacto entre las unidades de alto y bajo grado pero que en la parte sur de la quebrada La Doctora corta a ambos lados los esquistos cuarzo micáceos con grafito sin que se observen diferencias en el grado de metamorfismo ni en el tipo litológico.

**Falla Santa Gertrudis:** Se presenta en el curso alto de la quebrada del mismo nombre. Se pudo determinar que corresponde a una falla subhorizontal, siendo la primera vez que en el sur del Valle de Aburrá se reporta este tipo de fallas. Su significado geológico y su continuidad espacial dentro de la zona estudiada no son claros: se encontraron varios afloramientos (especialmente uno sobre el camino que lleva a la vereda San José del municipio de Sabaneta) en los cuales se observan rocas trituradas cuya disposición es subhorizontal y que coincide en términos generales con la observada en la quebrada Santa Gertrudis. Estos afloramientos no son concluyentes y solo un trabajo posterior aclarará las preguntas sobre esta falla. Debido a la dificultad de cartografiar la continuidad de estos rasgos tectónicos, no se muestran en la Figura 2.

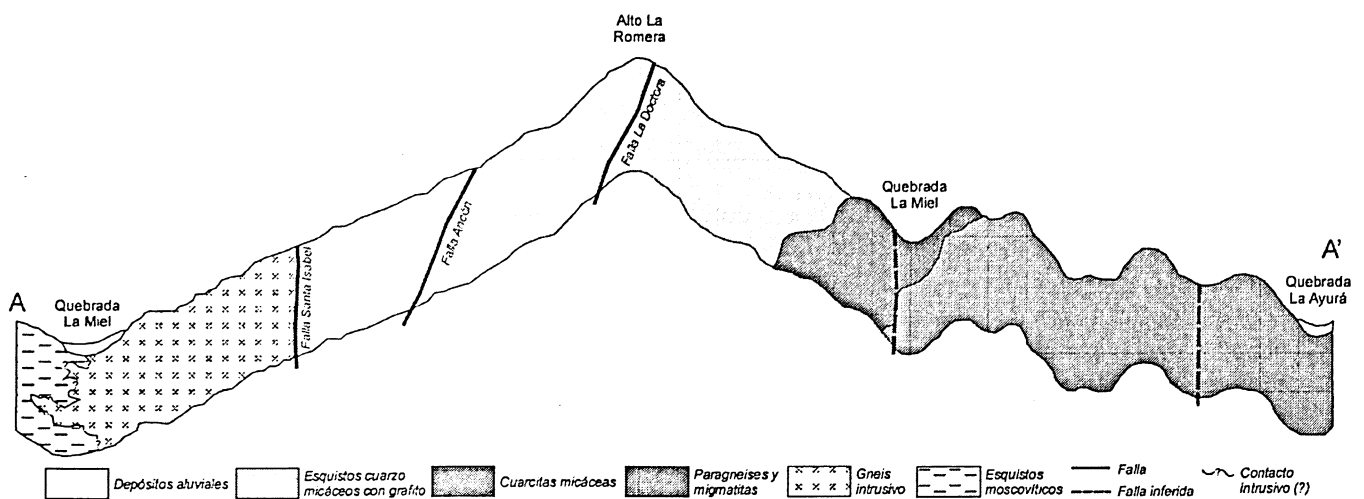


FIGURA 3.

Corte geológico simplificado AA'. Su ubicación se muestra en la Figura 2. Modificado de Montes (2003). La cartografía de la Falla Santa Isabel y las relaciones del Ortogneis de La Miel con los Esquistos moscovíticos fue tomada totalmente de Maya y Escobar (1985).

## 5. DISCUSIÓN

La idea de que las rocas metasedimentarias que afloran desde el oriente del municipio de Caldas hasta la cuenca de la quebrada La Ayurá conforman una secuencia continua desde el bajo a medio hasta el alto grado de metamorfismo no había sido considerada formalmente hasta ahora. Si bien Botero (1963) y Echeverría (1973) habían definido el Grupo Ayurá - Montebello y estudiado los metasedimentos, respectivamente, en ningún momento estos autores presentan una idea sobre el tipo de contacto ni explican las diferencias litológicas que encuentran entre los metasedimentos.

Algunas relaciones han sido propuestas y explican, según el autor respectivo, las diferencias en el grado de metamorfismo entre las rocas metasedimentarias. Es así como la relación discordante reportada por González (1980) puede corresponder a una posible inconformidad local entre los protolitos de las cuarcitas y de las metapelitas que luego sufrieron metamorfismo de alto grado con migmatización local y no a una discordancia angular entre un basamento (representado actualmente por las migmatitas) y una secuencia sedimentaria (protolito de las cuarcitas). Por otro lado, los contactos fallados que determinaron Maya y Escobar (1985) y Guarín (1988) entre las rocas de alto y bajo a medio grado corresponden a relaciones que fueron sobreimpuestas a las originales debido a la actividad tectónica de la región.

A favor de que esta secuencia es continua se tiene la conclusión de Ordoñez et al. (2001) sobre que el metamorfismo de las rocas de alto grado que afloran en El Retiro (Antioquia) es cronocorrelacionable con el de las metamorfitas de Ancón (esquistos cuarzo micáceos con grafito), según se puede ver al comparar las edades de  $226 \pm 17$  Ma (Sm/Nd isócrona Grt-RT) para las rocas de El Retiro (Ordoñez et al., 2001) y  $226 \pm 4$  Ma (Rb/Sr isócrona) para las de Ancón (Restrepo et al., 1991).

Adicionalmente, Bustamante (2003) plantea que las rocas de Ancón y de El Retiro posiblemente comparten historias metamórficas similares después de su formación; esta apreciación la basa en el sentido antihorario de las trayectorias P-T-t y en las similitudes mineralógicas entre ambos conjuntos litológicos.

De otro lado, Vinasco et al., (en prensa), consideran que las edades de metamorfismo colisional, obtenidas principalmente por el método U/Pb SHRIMP en circones de ortogneises se extiende entre 300 y 270 Ma, con intrusiones sintectónicas alrededor de 250 Ma. Las edades más jóvenes, cercanas a 230 Ma corresponderían a la migmatización tectónica tardía y a las intrusiones relacionadas a los episodios extensionales del orógeno. La migmatización sería consecuencia de una fusión parcial de la secuencia metamórfica debido a calentamiento por material magmático, específicamente en la zona de El Retiro en donde se encuentran abundantes migmatitas, la migmatización se debería a una rápida decompresión. En esta hipótesis la migmatización sería un evento tardío dentro del metamorfismo. Dicha conclusión no está de acuerdo con lo determinado en este trabajo, en donde se observa que hay un metamorfismo prógrado continuo desde la zona de biotita hasta las migmatitas de la zona de sillimanita, indicando que las migmatitas se formaron en las partes más calientes de la secuencia que sufría un metamorfismo orogénico prógrado polifásico.

La abundancia de edades radiométricas triásicas son atribuidas por dichos autores a un alto flujo térmico en la corteza asociado con un importante período extensional, hipótesis que parece bastante razonable.

Con el modelo de una fuerte decompresión al final de la orogenia se podría explicar la aparición de la andalucita, pues la secuencia pasaría a condiciones de menor presión, adecuadas para un tipo bórico de baja presión. Así, la andalucita aparecería regionalmente sin necesidad de acudir a la presencia de plutones que calentarán la zona. De todas maneras debería haber existido una fase tectónica posterior a la formación de andalucita pues dicho mineral es pretectónico respecto a una fase que formó un clivaje de crenulación.

Un argumento adicional para pensar que no fue la decompresión la causante de la migmatización es que la evidencia de una disminución fuerte en la presión que presenta Bustamante (2003) se obtuvo por geobarometría a partir de moscovitas retrógradas de las migmatitas (Bustamante, com. escrita, 2004), evidenciando que las migmatitas ya se habían formado cuando la decompresión tuvo lugar.



Un aspecto que aun no es claro es la existencia de rocas con edades radiométricas más antiguas que el Pérmico en la zona al occidente de la falla Santa Isabel. Así, el Gneis de La Miel presenta una edad de  $388 \pm 12$  Ma por isócrona Rb/Sr, mientras que anfibolitas granatíferas asociadas espacialmente arrojan edades carboníferas y pérmicas (Restrepo *et al.*, 1991). Vinasco *et al.* (en prensa) encuentran edades semejantes para el Gneis de La Miel por el método U/Pb SHRIMP. La secuencia occidental incluye anfibolitas granatíferas y esquistos cuarzo biotíticos con granate, estaurolita y cianita, indicando condiciones barrovianas. Por geobarometría Bustamante (2003) encuentra presiones en la anfibolita que van de 6 a 13 kilobares, situación que atribuye a que las rocas se habrían formado en una zona de subducción. Por el momento la relación entre las rocas al occidente y al oriente de la falla Santa Isabel no es clara, pero no se puede descartar que toda la secuencia estudiada haya sufrido un primer metamorfismo devo-carbonífero o anterior.

## 6. CONCLUSIONES

Se pudo determinar que las rocas metamórficas que afloran desde la cuenca de la quebrada La Ayurá hasta el oriente de Caldas y el Ancón Sur conforman una secuencia continua en la que las facies y el grado de metamorfismo aumentan en sentido W-E, al pasar de la facies esquistos verde, zonas de biotita y granate, a las facies anfibolita, zonas de estaurolita y sillimanita. Esta secuencia presenta contactos concordantes del tipo transicional, neto o intercalaciones métricas de unas con otras, cuyo protolito corresponde a una secuencia sedimentaria compuesta por pelitas intercaladas con areniscas de matriz arcillosa y material ígneo básico. Algunos de los contactos son fallados o discordantes, sendo los primeros una característica local debida a la presencia de discontinuidades estructurales superpuestas a las relaciones originales y las segundas a posibles inconformidades entre los protolitos de la secuencia sedimentaria que dio origen a las rocas metamórficas.

Se encontraron características de tipo bórico tanto de media como de baja presión. La media presión está marcada por la aparición generalizada, desde el bajo hasta el alto grado, de granate, posiblemente almandino, junto con estaurolita, en las metapelitas. La baja presión se manifiesta por la aparición de andalucita en metapelitas. El análisis microestructural permitió establecer que primero se produjo el metamorfismo de media presión y luego el de baja, ya que la aparición de los granates es anterior a la de las andalucitas.

Se identificó que la secuencia sigue el esquema de zonación Barroviano en sentido W-E, al pasar de las zonas de la biotita y granate en el oriente de Caldas y el Ancón Sur a la zona de estaurolita en la vereda La Romera y el alto del mismo nombre y luego a la zona de sillimanita en la quebrada La Ayurá. No se identificó una zona de cianita, tal vez por la composición química de la roca que correspondería a esta zona (franja de cuarcitas micáceas que aflora en la parte media de la quebrada La Miel de Envigado). Se identificaron por primera vez *in situ* los esquistos micáceos con granate y estaurolita que habían sido reportados por Maya y Escobar (1985) y Restrepo (1986) como rodados en las quebradas La Romera y La Miel (Caldas) y una franja de cuarcitas micáceas en la parte media de la quebrada La Miel (Envigado). También se reporta por primera vez la presencia de sillimanita, variedad fibrolita, dentro de los porfiroblastos de andalucita que aparecen en la zona del Ancón Sur y la parte baja de la quebrada La Doctora.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia: Anales de la Facultad de Minas, v. 57, pp. 1-110.
- Bustamante, A., 2003. Definição das trajetórias P-T-t em rochas metamórficas do flanco ocidental da cordilheira Central da Colombia, nas regiões de Caldas e El Retiro: Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo (inedita), 107 p.
- Correa, A.M., Martens, U., Restrepo, J.J., Ordoñez-Carmona, O. y Pimentel, M., 2005. Subdivisión de las metamorfitas básicas de los alrededores de Medellín, Cordillera Central de Colombia: Rev. Academia Colombiana de Ciencias

Exactas, Físicas y Naturales, V. XXIX, N. 112, pp. 325-344

- Echeverría, L.M., 1973. Zonación de las rocas metamórficas del valle de Aburrá y sus alrededores: Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín (inédita), 124 p.
- González, H., 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina): Boletín Geológico Ingeominas, v. 23 (1), pp. 1-174
- Guarín, J.N., 1988. Estudio petrográfico de las rocas metamórficas de la zona de Montebello - Antioquia: Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (inédita), 133 p.
- Ingeominas, 2001. Mapa Geológico del departamento de Antioquia, Memoria Explicativa, Esc. 1:400000.
- Maya, H.M. y Escobar, A., 1985. Estudio de las rocas metamórficas entre el Ancón Sur y la quebrada La Miel, Caldas, Antioquia: Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín (inédita), 160 p.
- Maya, H.M. y González, H., 1995. Unidades litodémicas de la cordillera Central de Colombia: Boletín Geológico Ingeominas, v. 35 (2-3), pp. 1-145.
- Mehnert, K.R., 1971. Migmatites and the origin of granitic rocks, 2ª Ed.: Elsevier, 405 p.
- Montes, L.F., 2003. Relación entre las metamorfitas de alto y bajo grado en el sur del Valle de Aburrá, Antioquia: Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín (inédita), 175 p.
- Ordóñez, O., Pimentel, M., Correa, A.M., Martens, U. y Restrepo, J.J., 2001. Edad Sm/Nd del metamorfismo de alto grado de El Retiro (Antioquia): Memorias VIII Congreso Colombiano de Geología, Manizales.
- Patiño, J. y Noreña, J.A., 1984. Estudio de las rocas metamórficas en la parte sur del Municipio de Caldas, Antioquia. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín (inédita), 154 p.
- Restrepo, J.J., 1986. Metamorfismo en el sector norte de la Cordillera Central de Colombia: Trabajo de promoción a profesor titular (inédito). Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín, Facultad de Ciencias, 276 p.
- Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F., 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín: Memorias Primera conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá, Medellín, pp. 1-26.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., González, H., Cordani, U., Kawashita, K., Linares, E. y Parica, C., 1991. Precisiones geocronológicas sobre el Occidente Colombiano: Memorias simposio sobre magmatismo Andino y su marco tectónico, Manizales, Tomo I, pp. 1-21.
- Sepúlveda, R.D. y Saldarriaga, S.M., 1980. Metamorfismo de las rocas del oriente del municipio de Caldas (Antioquia): Tesis Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín (inédita), 119 p.
- Toro, G.E. y Velásquez, A., 1984. Estudio geomorfológico y estructural del Valle de Aburrá. Zonas 2 y 3: Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín (inédita), 210 p.

