

OCURRENCIA DE PRECAMBRICO EN LAS CERCANIAS DE
MEDELLIN, CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA

Jorge Julián Restrepo*
Jean Francois Toussaint*

INTRODUCCION

La edad del metamorfismo en la Cordillera Central ha sido objeto de controversia desde los primeros estudios en la zona, habiendo sido considerada desde precámbrica hasta cretácea. Como contribución a la resolución de este problema se presentan dos dataciones radiométricas de rocas metamórficas de Caldas (Antioquia), obtenidas dentro de la investigación "Evolución de los Andes Colombianos" patrocinada por Colciencias. Aprovechamos la ocasión para agradecer a esa entidad el apoyo financiero que hizo posible la determinación de estas edades.

RESEÑA HISTORICA

En los estudios realizados a principios del siglo todos los autores consideraron que existían varios eventos metamórficos, aunque las edades asignadas diferían, como puede verse en la tabla siguiente:

<u>Autor</u>	<u>Edades Asignadas</u>
Ospina, 1911	Arcaico, Paleozóico
Grosse, 1926	Arcaico, Proterozóico
Scheiba, 1919	Arcaico ?, Paleozóico, Mesozóico
Posada, 1936	Precámbrico, Paleozóico, Jurásico.

Posteriormente, tanto Nelson (1957) como Botero (1963) supusieron la existencia de un solo evento metamórfico al definir respectivamente los grupos Cajamarca y Ayurá-Montebello, Nelson inicialmente (1957) asignó una edad probable paleozóica para el grupo Cajamarca, pero después (1962) consideró que era mesozóica (jura-cretácea) con base en una posible correlación con las diabasas y sedimentos de la Cordillera Occidental. Para Botero (1963) los metasedimentos se habrían depositado al

* Departamento de Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional - Medellín.

menos en parte en el Paleozóico temprano, habiendo sufrido un metamorfismo precretáceo, probablemente caledoniano.

Esta probable edad paleozóica temprana ha sido aceptada, por ejemplo, por Barrero y otros (1969) y por Arango y otros (1977) en el mapa geológico de Colombia. Forero (1970), con base en la presencia de sedimentos devónicos no metamorfosados en el flanco oriental de la Cordillera Central, apoya una edad predevónica para el metamorfismo.

Radelli (1967) propuso la existencia de dos metamorfismos, uno pre-mesozóico (herciniano) representado por "escamas" de zócalo de alto grado y otro, el principal, mesozóico (aptiano-albiano). Butterlin (1973) y Estrada (1972) presentan hipótesis semejantes. González (1976) por su parte considera que el metamorfismo de los metasedimentos es paleozóico temprano y el de los neises intrusivos es paleozóico tardío. Irving (1971), con base en dataciones permotriásicas de neises y de plutones post-tectónicos, supone una edad pérmica tardía para el metamorfismo de la Cordillera Central. Esta edad probable fue aceptada en particular por Hall y otros (1972), Feininger y otros (1972), MacDonald (1972), Restrepo y Toussaint (1973). Además, recientemente Restrepo y otros (1978) obtuvieron una edad radiométrica pérmica (270 m.a.) sobre un metasedimento cercano a Medellín y perteneciente al Grupo Ayurá-Montebello.

Adicionalmente a las rocas metamórficas del núcleo de la Cordillera, se han documentado otras dos secuencias de diferentes edades en los márgenes de ésta. En el flanco oriental, Feininger y otros (1972) reconocieron neises cuarzo feldespáticos con algunas intercalaciones de anfibolitas y mármoles a los cuales asignaron edad precámbrica por reposar sobre ellos los metasedimentos ordovicianos con graptolites de la Cristalina. Estas rocas se encuentran separadas de las del núcleo de la cordillera por grandes fallas de rumbo.

Más al sur, en el departamento del Tolima, Barrero y Vesga (1976) indican pequeños afloramientos de Precámbrico. De éstos, dataron la anfibolita de Padua, obteniendo una edad de 1360 ± 270 m.a.

En años recientes la posible existencia de Precámbrico en el Centro y Occidente de la Cordillera ha sido sugerida por Hall y otros (1972) para el neis de Puquí y por González (1976) para las migmatitas de Puente Pelaez. Sin embargo, por dataciones K/Ar no ha sido posible confirmar la edad precámbrica (Toussaint y otros, 1978; González y otros, en preparación).

En el flanco occidental de la Cordillera Central, sur de Antioquia y norte de Caldas, Restrepo y Toussaint (1975) encontraron anfibolitas granatíferas, esquistos verdes y esquistos micáceos grafíticos. A esta secuencia, que denominan Grupo Arquí, la consideraron de tipo bórico de me

día presión (barroviano), a diferencia de las rocas del núcleo que fueron definidas como de tipo bórico de baja presión (Abukuma) por Radelii (1967) y Feininger y otros (1972). Una anfibolita granatífera del Grupo Arquía fue datada como cretáceo (110 ± 15 m.a., Restrepo y Toussaint, 1975). Al sur en el departamento del Cauca, fue descubierta una secuencia de tipo bórico de media y alta presión y a la cual también se le asigna probable edad cretácea (Orrego y otros, 1977).

INTERROGANTES SOBRE LAS ROCAS METAMORFICAS DE CALDAS

Las rocas metamórficas de la zona de Caldas fueron consideradas como parte del Grupo Ayurá-Montebello por Botero (1963) y Echeverría (1973). Recientes trabajos realizados en esta zona, a unos 20 kms. al sur de Medellín, han llevado a plantear la posibilidad de que el problema del metamorfismo de la Cordillera Central sea más complejo de lo pensado hasta hace poco. Restrepo y Toussaint (1977) encontraron anfibolitas granatíferas de tipo bórico de media presión en esa región, aparentemente intruídas por un ortoneis. Para explicar esta situación plantearon las siguientes hipótesis :

1. Que el tipo bórico de metamorfismo del Grupo Ayurá-Montebello varíe dentro del cinturón pasando lateralmente desde baja presión a media presión.
2. Que los orígenes y edades sean diferentes para los dos tipos de metamorfismo. Dentro de esta hipótesis se pueden postular dos alternativas :
 - a) La anfibolita granatífera es más antigua que el grupo Ayurá-Montebello. En este caso el ortoneis podría correlacionarse con intrusiones sin y post-tectónicas, por ejemplo con el ortoneis de Abejorral (207 m.a., González, 1976).
 - b) La anfibolita granatífera es más joven que el Grupo Ayurá-Montebello y se podría correlacionar con las anfibolitas granatíferas del Grupo Arquía, de edad cretácea temprana (Restrepo y Toussaint, 1975). Para esta alternativa se presenta la dificultad de explicar el aparente contacto intrusivo del ortoneis sobre la anfibolita, ya que esto implicaría intrusiones sintectónicas muy jóvenes (post-cretáceo temprano) desconocidas en la zona.

DESCRIPCION DE LAS UNIDADES

La zona solo ha sido cartografiada por Botero (1963) a una escala 1:50.000. En ese trabajo las rocas metamórficas estudiadas aparecen agrupadas como "Metasedimentos del Grupo Ayurá-Montebello". Echeverría (1973) hizo algunos cortes en el valle del río Medellín, descri-

biendo al oriente de Caldas tanto el neis como la anfibolita. La distribución y características del neis y de la anfibolita fueron descritas por Restrepo y Toussaint (1977).

a) Neis Micáceo. La muestra del neis que se analizó fue tomada en la quebrada La Miel. La composición modal es :

Feldespato potásico	30.4 %
Oligoclasa	24.5 %
Cuarzo	23.2 %
Moscovita	16.5 %
Biotita	5.4 %

Los minerales son medio granulares, del orden de 4 mm. El feldespato potásico parece haber sido ortoclasa que se invirtió a microclina. La foliación está bien marcada por la orientación de las micas, aunque en otras muestras no es tan clara. La biotita solo está incipientemente cloritizada en la roca analizada, aunque por lo general tiene cloritización avanzada. En algunas muestras se encuentran pequeños granates euheredrales.

El neis de Caldas parece unirse más al sur con el neis del Alto de Minas descrito por González (1976), constituyendo así una faja delgada de unos 25 kms. de largo y una anchura máxima de 2 kms. También es probable que se correlacione con el neis de la Iguaná que aflora en el flanco occidental del vallo del río Medellín.

b) Anfibolita Granatífera. Aunque las anfibolitas son bien conocidas en los alrededores de Medellín, habiendo sido consideradas por Botero (1963) como la parte basal del Grupo Ayurá-Montebello, por su mineralogía la anfibolita granatífera es una unidad anómala en la región. Más al sur, Restrepo y Toussaint (1975) describieron anfibolitas granatíferas en el Grupo Arquía, pero como ya se mencionó, una datación dió una edad cretácea.

Los afloramientos de anfibolitas varían desde zonas de solo unos pocos metros en la quebrada La Miel hasta exposiciones casi continuas por 2 kms. (en sentido E-W) en el sitio La Salada.

La prolongación hacia el sur no se conoce, aunque en la colección petrográfica de la Sección de Geología de la Universidad Nacional en Medellín hay muestras semejantes colectadas por Gerardo Botero en la carretera Versalles Montebello.

La anfibolita analizada es de grano fino, con foliación nematoblástica levemente marcada. Su composición mineralógica estimada es :

Hornblenda azul verdosa	62 %
Granate almandino	15 %
Plagioclasa (oligoclasa)	12 %
Epidota	6 %
Cuarzo	2 %
Esfena, ilmenita	2 %

En otras muestras se han encontrado pequeñas cantidades de biotita y de allanita, la cual produjo fuertes halos pleocróicos sobre la hornblenda. En algunas rocas no se observa plagioclasa, pudiéndose clasificarlas como esquistos anfibólicos. Generalmente el accesorio titanífero es rutilo, relativamente abundante, aunque para la muestra analizada es ilmenita rodeada de coronas de esfena. En todas las secciones analizadas se observa un desequilibrio entre el granate y los demás minerales, lo que hace suponer que se trata de una roca que ha sufrido metamorfismo retrógrado, ya sea a partir de una anfibolita granatífera de mayor grado o de una eclogita.

RESULTADO DEL ANALISIS

Los análisis realizados en el INGEIS de Buenos Aires, Argentina, dieron los siguientes resultados:

Muestra Analizada	Mineral Analizado	% K	Ar ⁴⁰ rad	Edad
Anfibolita No. 2919	Hornblenda "	0.04	$1,905 \times 10^{-10}$ mol/g	1672 m.a. } 1670 1662 m.a. } ± 500 m.a.
		0.04	$1,893 \times 10^{-10}$ mol/g	
Neis No. 2955	Moscovita	7.36	$48,256 \times 10^{-10}$ mol/g	343 \pm 12 m.a.

Según la escala del tiempo geológico de Van Eysinga (1975) la edad de la anfibolita corresponde al Precámbrico y la del neis al límite Devónico-Carbonífero.

DISCUSION

1. Significado Regional. La edad obtenida para la anfibolita granatífera es la más antigua conocida en Colombia. Además es la primera vez que se documentan rocas precámbricas en el flanco occidental de la Cordillera Central.

En Colombia las rocas metamórficas de alto grado que se han datado como precámbricas pertenecen por lo menos a 2 ciclos orogénicos principales: uno entre 1400 y 1200 m.a. documentado en la Sierra Nevada de

Santa Marta (Tschanz y otros, 1974), en el flanco oriental de la Cordillera Central (Barrero y Vesga, 1976), y en los Llanos Orientales (Pinson y otros, 1962); otro entre 940 y 680 m.a. en la Sierra Nevada de Santa Marta (Tschanz y otros, 1974) y en el macizo de Santander (Goldsmith y otros, 1971). Además de las ocurrencias colombianas, se han encontrado rocas precámbricas en otras partes de la cadena andina, por ejemplo en el sur de Ecuador de una anfibolita, se obtuvo una edad de aproximadamente 700 m.a. (Trouw, 1976); de la Cordillera de la Costa de Perú Cobbeing y otros (1977) dataron un neis del macizo de Arequipa en 1811 m.a.

Para Suramérica, con base en una compilación de numerosas dataciones, Cordani y otros (1973) indican la existencia de dos ciclos principales: uno, llamado Transamazónico, entre 1800 y 2200 m.a. y otro entre 450 y 700 m.a. También anotan que se han reconocido eventos de edad intermedia, en especial uno entre 900 y 1400 m.a.

Como se vé, los demás datos de rocas precámbricas en Colombia encajan bien con estos ciclos suramericanos, pero no así la anfibolita granatífera de este trabajo, a no ser que se acepte una edad real un poco más antigua que la edad mínima y en ese caso podría corresponder al ciclo Transamazónico. De otro lado, la edad de la anfibolita concuerda perfectamente con la orogenia hudsoniana de Canadá (1640 a 1820 m.a., Stockwell, 1969 citado por Butterlin, 1977) que también se ha reconocido en California meridional, Colorado, Nuevo Méjico y Méjico (Anderson y otros, 1972, citado por Butterlin, 1977).

Para el neis, la edad radiométrica obtenida corresponde al límite entre las orogenias caledoniana y herciniana. Hasta el momento es la edad más antigua obtenida sobre un neis intrusivo de la Cordillera Central.

La edad del neis no se puede interpretar aún claramente. Podría tratarse de un intrusivo sintectónico temprano de la orogenia herciniana, correspondiendo los demás neises datados a intrusiones sintectónicas tardías (pérmicas), o podría pertenecer a una orogenia caledoniana o aún precámbrica, siendo en este caso una edad mínima. Sobre este punto se debe tener en cuenta que en el neis se analizó biotita y en la anfibolita se analizó hornblenda, siendo el primer mineral de más baja retentividad de Ar y siendo por lo tanto más factible que la edad obtenida corresponda a eventos térmicos posteriores.

2. Consecuencias paleográficas. La existencia de rocas antiguas en una posición occidental bastante alejada del Escudo de Guayana plantea una serie de interrogantes sobre la naturaleza del basamento de la Cordillera Central y sobre la paleogeografía de todo el occidente colombiano. En esta nota solamente queremos indicar algunas posibilidades que sin duda plantean más problemas que soluciones. Se pueden agrupar estas hipótesis en dos grandes grupos que postulan el uno

la autoctonía o subautoctonía de los anfibolitas en relación al Escudo de Guayana y el otro su aloctonía.

- a) Autoctonía de la anfibolita. La anfibolita podría pertenecer al basamento precámbrico suramericano, el cual sería continuo desde el borde occidental de la Cordillera Central hasta el Escudo de Guayana: Esa situación implicaría una ausencia de crecimiento continental desde la terminación de la orogenia hudsoniana hasta el Cretáceo, período durante el cual se adhirió el fondo oceánico de la Cordillera Occidental al continente Suramericano (Toussaint y Restrepo, 1976). Es interesante anotar que en ese caso los dos ciclos orogénicos precámbricos datados en 1400 - 1200 m.a. y en 946 - 680 m.a. se habrían desarrollado al oriente de las rocas precámbricas de Caldas, o sea entre éstas y el Escudo de Guayana, lo que plantea también el problema de la naturaleza de esas orogenias.

Por otra parte se puede considerar que las rocas precámbricas de Caldas constituyen un pequeño bloque separado del escudo durante un movimiento de "rifting". En la cuenca marginal formada entre los dos bloques continentales precámbricos se habrían depositado, sobre un fondo de naturaleza símica, sedimentos (cambro-ordovicianos ?); posteriormente el conjunto se habría metamorfoseado a anfibolita y metasedimentos del Grupo Ayurá-Montebello. Esta hipótesis es compatible con las ideas de varios autores, por ejemplo Echeverría, 1973 y Toussaint y Restrepo, 1976, quienes postulan un paleofondo oceánico para la Cordillera Central durante el Paleozoico.

- b) Edad de otras anfibolitas de la Cordillera Central. Las hipótesis anteriores plantean un nuevo interrogante sobre las edades de las anfibolitas del flanco occidental de la Cordillera Central. Así, hasta la fecha solo se han datado las anfibolitas de Caldas (1670 m.a.) de Arquía (110 m.a., Restrepo y Toussaint, 1975) y de Medellín (91 m.a., Restrepo y Toussaint, 1975), aunque los autores consideran esta última datación incompatible con las observaciones geológicas. Otras anfibolitas han sido consideradas en los trabajos recientes como paleozoicas o mesozoicas. Sin embargo, varias de ellas, en particular las de Medellín, podrían ser también precámbricas como sugirieron los autores de principios del siglo, aunque de naturaleza polimetamórfica. El primer metamorfismo habría sido de tipo bórico de media presión y el segundo de baja presión, durante el cual habrían desaparecido los granates. Si esta hipótesis es válida, no se podría considerar más la presencia de un basamento oceánico paleozoico en la Cordillera Central.

También se puede admitir que las anfibolitas del Grupo Arquía podrían correlacionarse con las de Caldas y que su edad K/Ar cretácea solo indicaría eventos térmicos posteriores. Sin embargo, esta correlación nos parece improbable debido a la aparente relación genética que las

anfíbolitas del Grupo Arquía tiene con las rocas del Complejo Ofiolítico del Cauca (Arias y Caballero, en preparación). A este complejo se le asigna edad cretácea temprana con base en una edad de 131 m.a. obtenida en un gabro (Toussaint y Restrepo, 1976) y en sedimentos fosilíferos del intervalo hauteriviano-aptiano asociados con basaltos (Botero y otros, 1971).

- c) Aloctonía de las anfíbolitas. El segundo grupo de hipótesis consiste en admitir que la anfíbolita se formó en otro lugar y fue transportada posteriormente a su posición actual. Esta alternativa se puede explicar ya sea por un importante movimiento de rumbo o por medio de una colisión de Suramérica con otro bloque. En el primer caso se debe anotar que las rocas precámbricas Caldas están situadas muy cerca de la Falla de San Jerónimo que es una de las más orientales del sistema de falla Cauca-Romeral. Este sistema tiene una historia larga que aún no se ha podido reconstruir con precisión, aunque un importante movimiento de rumbo es generalmente aceptado. Siendo el problema de la naturaleza y edades de las fallas del occidente colombiano muy complejo, no se puede todavía profundizar más esta hipótesis.

En el otro caso las rocas precámbricas de Caldas habrían pertenecido originalmente a un continente o a un microcontinente situado al occidente (?) del suramericano y que habría colisionado con éste. Varios autores, por ejemplo Walper y Rowett (1972) y Toussaint y Restrepo (1976) suponen una colisión entre Norte y Suramérica y en particular entre la parte mejicana del continente Norteamericano y la parte noroccidental del Suramericano durante el Paleozoico. Además, como se indicó antes, también en Méjico existen rocas precámbricas datadas alrededor de 1700 m.a. En el marco de esta hipótesis, las anfíbolitas de Caldas habrían pertenecido a Norteamérica para luego pegarse a Suramérica durante la colisión. La separación entre los dos continentes a finales del Paleozoico o principios del Mesozoico (?) se habría producido al occidente de Caldas.

Una hipótesis similar consiste en admitir que sería un microcontinente (separado de Norteamérica?) el que habría colisionado con Suramérica para agregarse a ésta.

De todos modos sea cual sea la verdadera interpretación sobre la posición original de las anfíbolitas precámbricas de Caldas, su hallazgo indica que la historia premesozóica del occidente colombiano ha sido muy compleja. Su estudio deberá entrar en el marco más general de los trabajos sobre las reconstituciones de las posiciones de los continentes durante el Paleozoico y sobre los problemas de extensión y acreción de los núcleos precámbricos.

CONCLUSIONES

1. Las nuevas dataciones de rocas del flanco occidental de la Cordillera Central comprueban la existencia de anfibolitas que pertenecen a la más antigua orogenia precámbrica documentada en Colombia y de neises devo-carboníferos que son bastante más antiguos que los conocidos anteriormente en la Cordillera Central.
2. El flanco occidental de la Cordillera Central ha sido afectado por varias orogenias de las cuales al menos tres parecen haber sido acompañados de metamorfismo regional de tipo bórico variable: uno precámbrico parece ser de tipo bórico de media presión. Otro paleozóico, es de baja presión; finalmente, el mesozóico, parece ser de media presión en la zona norte y de alta presión en la zona sur.

BIBLIOGRAFIA

- ARANGO, J.L.; KASSEM, T. y DUQUE, H., 1976, Mapa geológico de Colombia: Esc. 1: 1'500.000, Ingeominas, Bogotá.
- BARRERO, D.; ALVAREZ, J. y KASSEM, T., 1969, Actividad Ignea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozóico: Bol. Geol., Bogotá, v. 17, p. 145 - 173.
- BARRERO, D. y VESGA, C.J., 1976, Mapa geológico del Cuadrángulo K - 9 Armero y parte sur del J - 9 La Dorada: Esc. 1: 100.000, Ingeominas, Bogotá.
- BOTERO, G., 1963, Contribución al conocimiento de la geología de la zona Central de Antioquia: Anales Fac. Minas, Medellín, No. 57, 101 p.
- BOTERO, G.; TOUSSAINT, J.F.; OSPINA, H.; ORTIZ, F. y GOMEZ, J., 1971, Yacimiento Fosilífero de Arma: Publ. Esp. Geol. Fac. Minas, Medellín, No. 1, 13 p. y 1974, Anales Fac. Minas, Medellín, No. 58, p. 1-12.
- BUTTERLIN, J., 1973, Comparaison des caracteres structuraux des Cordilleres sud-americaïnes extra-andines, des Andes Centrales et des Andes Septentrionales: II Cong. Lat. Amer. Geol., Caracas, 31 p.
- BUTTERLIN, J., 1976, Geologie Structurale de la région des Caribes: Ed. Masson, Paris, 259 p.

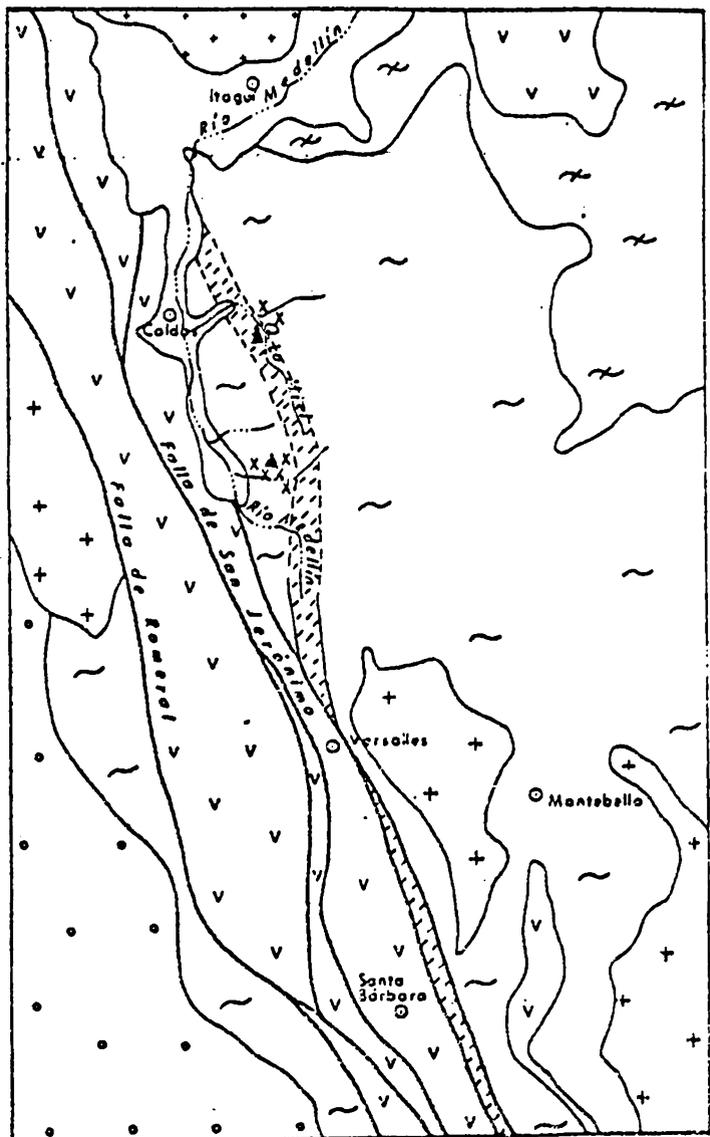
- COBBING, E.J.; OZARD, J.M. y SNELLING, N. J., 1977, Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of the Coastal Cordillera of Southern Peru: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 88, No. 2, p. 241 - 246.
- CORDANI, U.; AMARAL, G. y KAWASHITA, K., 1973, The precambrian evolution of South America: Geol. Rundschau, v. 62, No. 2, p. 309-317.
- ECHEVERRIA, L. M., 1973, Zonación de las rocas metamórficas del Valle de Aburrá y sus alrededores (Tesis de grado inedito), Fac. Minas, Medellín, 124 p.
- ESTRADA, A., 1972, Geology and Plate Tectonics History of the Colombian Andes: Tesis, M. Sc., Stanford, 115 p.
- FEININGER, T.; BARRERO, D. y CASTRO, N., 1972, Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub zona II B): Bol. Geol. Bogotá, v. 20, n. 2, 173 p.
- FORERO, A., 1970, El Paleozóico superior del Flanco oriental de la Cordillera Central: Geol. Colomb., Bogotá, No. 7, p. 139 - 145.
- GOLDSMITH, R.; MARVIN, R. y MEHNERT, H., 1971, Radiometric Ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 750 - D, p. D 44-D 49.
- GONZALEZ, H., 1976, Geología del Cuadrángulo J - 8, Sonsón: Informe 1704, Ingeominas, Bogotá, 421 p.
- GROSSE, E., 1926, El Terciario carbonífero de Antioquia: Ed. D. Reimer, Berlín, 361 p.
- HALL, R.; ALVAREZ, J. y RICO, H., 1972, Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona II-A): Bol. Geol., Bogotá, v. 20, 85 p.
- IRVING, E.M., 1971, La Evolución Estructural de los Andes más septentrionales de Colombia: Bol. Geol., Bogotá, v. 19, n. 2, 90 p.
- MAC DONALD, W. y HURLEY, P., 1969, Precambrian gneisses from Northern Colombia, South America: Geol. Soc. Amer. Bull., v 80, p. 1867 - 1872.
- MAC DONALD, W., 1972, Late Paleozoic tectonics in Northern South America: Int. Symp. Carb. and Perm. Syst. in South America, Sao Paulo, Brazil, 37 p.

- COBBING, E.J.; OZARD, J.M. y SNELLING, N. J., 1977, Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of the Coastal Cordillera of Southern Peru: *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 88, No. 2, p. 241 - 246.
- CORDANI, U.; AMARAL, G. y KAWASHITA, K., 1973, The precambrian evolution of South America: *Geol. Rundschau*, v. 62, No. 2, p. 309-317.
- ECHEVERRIA, L.M., 1973, Zonación de las rocas metamórficas del Valle de Aburrá y sus alrededores (Tesis de grado inedito), Fac. Minas, Medellín, 124 p.
- ESTRADA, A., 1972, Geology and Plate Tectonics History of the Colombian Andes: Tesis, M. Sc., Stanford, 115 p.
- FEININGER, T.; BARRERO, D. y CASTRO, N., 1972, Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub zona II B): *Bol. Geol. Bogotá*, v. 20, n. 2, 173 p.
- FORERO, A., 1970, El Paleozóico superior del Flanco oriental de la Cordillera Central: *Geol. Colomb.*, Bogotá, No. 7, p. 139 - 145.
- GOLDSMITH, R.; MARVIN, R. y MEHNERT, H., 1971, Radiometric Ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 750 - D, p. D 44-D 49.
- GONZALEZ, H., 1976, Geología del Cuadrángulo J - 8, Sonsón: Informe 1704, Ingeominas, Bogotá, 421 p.
- GROSSE, E., 1926, El Terciario carbonífero de Antioquia: Ed. D. Reimer, Berlín, 361 p.
- HALL, R.; ALVAREZ, J. y RICO, H., 1972, Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona II-A): *Bol. Geol.*, Bogotá, v. 20, 85 p.
- IRVING, E.M., 1971, La Evolución Estructural de los Andes más septentrionales de Colombia: *Bol. Geol.*, Bogotá, v. 19, n. 2, 90 p.
- MAC DONALD, W. y HURLEY, P., 1969, Precambrian gneisses from Northern Colombia, South America: *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v 80, p. 1867 - 1872.
- MAC DONALD, W., 1972, Late Paleozoic tectonics in Northern South America: *Int. Symp. Carb. and Perm. Syst. in South America*, Sao Paulo, Brazil, 37 p.

- NELSON, H., 1957, Contribution to the Geology of the Central and Western Cordillera of Colombia: Leidse Geol., Medelelingen, Leiden, v. 22, 76 p.
- NELSON, H., 1962, Contribución al conocimiento de la Cordillera Central de Colombia, Sección entre Ibagué y Armenia: Bol. Geol., Bogotá, v. 10, p. 161 - 202.
- ORREGO, A.; CEPEDA, H. y RODRIGUEZ, G.I., 1977, Esquistos glaucofánicos en el área de Jambaló, Cauca (Colombia): Informe 1729 (inédito), Ingeominas, 14 p.
- OSPINA, T., 1911, Reseña sobre la geología de Colombia y especialmente de Antioquia: Imp. La Organización, Medellín, 102 p.
- PINSON, W.; HURLEY, P., MENCHER, E. y FAIRBAIRN, H., 1962, K-Ar and Rb-Sr ages of biotites from Colombia, South America: Geol. Soc. Amer. Bull, v. 73, p. 907 - 910.
- POSADA, J.C., 1936, Bosquejo Geológico de Antioquia: Anales Fac. Minas, Medellín, No. 38, 51 p.
- RADELLI, L., 1967, Geologie des Andes Colombiennes: Trav. Lab. Geol. Fac. Sci. Grenoble, Mem. 6, 457 p.
- RESTREPO, J. J. y TOUSSAINT, J. F., 1974, Obducción Cretácea en el Occidente Colombiano: Anales Fac. Minas, Medellín, No. 58, p. 73 - 105.
- RESTREPO, J.J. y TOUSSAINT, J.F., 1975, Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia - Colombia: Publ. Esp., Geol., No. 6, Fac. Minas, Medellín, 24 p.
- RESTREPO, J.J. y TOUSSAINT, J.F., 1977, Anfibolitas granatíferas de Caldas - Antioquia: Bol. Cienc. de la Tierra, Medellín, No. 2, p.147-154.
- RESTREPO, J.J., TOUSSAINT, J.F., GONZALEZ, H. y LINARES, E., 1978, Datación de metasedimentos del Grupo Ayurá-Montebello, Publ. Esp. Geol., No. 10, Fac. Ciencias Medellín, 5 p.
- SCHEIBE, R., 1919, Geología del Sur de Antioquia: Comp. Est. Geol.Of. Colomb., Bogotá, p. 97 - 167.
- TOUSSAINT, J.F. y RESTREPO, J.J., 1976, Modelos orogénicos de tectónica de placas en los Andes Colombianos; Bol. Cienc. de la Tierra, Medellín, No. 1, p. 1 - 47.

- TOUSSAINT, J. F.; GONZALEZ, H.; RESTREPO, J. J. y LINARES, E., 1978, Edad radiométrica K/Ar. del neis de Puquí: Publ. Esp. Geol., No. 7, Fac. Ciencias, Medellín, 3 p.
- TROUW, R., 1976, Cuatro cortes por la faja metamórfica de la Cordillera Real, Ecuador: Bol. Cient. Tecno., No. 1, Guayaquil, 40 p.
- TSCHANZ, C.; MARVIN, R.; CRUZ, J.; MEHNERT, H. y CEBULA, G., 1974, Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 85, p. 273 - 284.
- VAN EYSINGA, F., 1975, Geological Time Table: Ed. Elsevier.
- WALPER, J. L. y ROWETT, C. L., 1972, Plate tectonics and the origin of the Caribbean Sea and the Gulf of México: Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans., 22^d An. Convention, p. 105 - 116.

-  Depósitos cuaternarios
 -  Rocas sedimentarias y volcánicas cenozoicas
 -  Plutón terciario (?)
 -  Complejo ofiolítico del Cauca, cretáceo
 -  Plutones triásicos y jurásicos
 -  Metasedimentos } Grupo Ayurá
Montebello
 -  Anfibolitas } Paleozoica(?)
 -  Nev. de la quebrada La Miel
 -  Afloramientos de anfibolitas de Caldas
 -  Muestras analizadas
- 0 ——— 5 K



Geología tomada de Gross (1926) Universidad Nacional e Ingeominas

Mapa geológico regional