

ESTUDIO DIAGENÉTICO PRELIMINAR DE LA FORMACIÓN AMAGÁ

Guzmán López, C.A.¹

RESUMEN

A partir del estudio de secciones delgadas se hace una aproximación a la diagénesis de la Formación Amagá (Oligocena Superior- Miocena Inferior), aflorante en el suroeste de Antioquia.

La paragénesis diagenética para las áreas Amagá-Angelópolis y Amagá-Palomos es similar. Inicialmente se presenta deformación mecánica de micas y probablemente caolinitización de feldspatos; en la segunda área hay también clorización de micas. La cementación se dio relativamente temprana correspondiendo a cementos peliculares de clorita y hematita y cemento silíceo de poros seguidos por cementos carbonatados de poros y basales. A continuación se produce la corrosión y diferentes tipos de metasomatismo seguidos por procesos neomórficos. Probablemente siguen pigmentos de óxidos de hierro y disolución de cementos carbonatados que genera porosidad secundaria, la cual después es destruida aisladamente por cementos silíceos y carbonatados. En el área de Fredonia-Venecia la compactación jugó un papel más notorio, como consecuencia la importancia de los cementos y del metasomatismo asociado, decrece.

En la eogénesis priman condiciones anóxicas en las que los carbonatos se encuentran en la zona Me. La mesogénesis correspondió inicialmente a aguas meteóricas, de bajo pH; en estados más tardíos los carbonatos entran en la zona D, iniciándose abundante precipitación de cementos. En la telogénesis se tienen condiciones alcalinas y oxidantes. Se infiere en general una variación en los regímenes hidrogeológicos pasando de aguas meteóricas a compactacionales y posiblemente termobáricas.

Palabras clave: Formación Amagá; paragénesis diagenética; etapas diagenéticas; regímenes hidrológicos.

PRELIMINARY DIAGENETIC STUDY OF THE AMAGÁ FORMATION

ABSTRACT

By means of a thin sections analysis is made a first approach of the diagenesis of the Amagá Formation (upper oligocene-lower miocene) that outcrops in the southwest of Antioquia

The diagenetic paragenesis of the Amagá-Angelópolis and Amagá-Palomos areas are similar. Initially, mechanical deformation of micas and probably kaolinitization of feldspars occur; in the second area there is too chloritization of micas. Cementation was relatively early corresponding to chlorite and hematite coats and siliceous pore cement followed by carbonate basal and pore cements. Later, corrosion and different types of methasomatism take place followed by neomorphic processes. Probably the next processes are pigmentation by Fe oxides and dissolution of carbonate cements that originates secondary porosity it which is isolately destroyed by siliceous and carbonate cements. In the Fredonia-Venecia area, compaction plays a more notorious role, as a consequence the importance of cements and associated methasomatism, decrease.

In eogenesis, prevail anoxic conditions and the carbonates are in the Zone Me. Mesogenesis initially corresponds to low pH meteoric waters; in later stages the carbonates enter in the zone D beginning an abundant precipitation of cements. In telogenesis exist alkaline and oxic conditions. A transition in the hydrologic regimes can be inferred passing from meteoric to compactional and possibly thermobaric waters.

Key words: Amagá Formation; diagenetic paragenesis; diagenetic stages; hydrologic regimes.

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Caldas. Calle 65 26-10, Manizales. cguzman@yahoo.com; carlosguzman@ucaldas.edu.co

INTRODUCCIÓN

En el suroeste de Antioquia aflora una unidad litoestratigráfica conocida como Formación Amagá que ha sido de interés económico dada la existencia de mantos explotables de carbón. Al igual que acontece con otras unidades en Colombia poco se ha estudiado la evolución diagenética por lo cual se plantea este trabajo con el fin de hacer una primera aproximación.

El área de estudio se centró principalmente en la zona comprendida entre Amagá y Angelópolis, sin embargo debido a que se buscó establecer una interpretación más general el área comprendió también parte de los municipios de Fredonia, Titiribí y Venecia (FIGURA 1).

ANTECEDENTES

Grosse (1926) denomina la unidad “Terciario carbonífero de Antioquia”, subdividiéndola en tres “pisos”, con base

en la presencia o ausencia de mantos explotables de carbón; González (1980) le da el nombre con el cual es más conocida, Formación Amagá. Posteriormente Guzmán (1991) propone tres miembros para la unidad: Miembro Peñitas (conglomerático, hacia la parte basal, con un espesor de hasta 100 m.); Miembro Sabaletas (arenitas, lutitas y carbones, puede alcanzar hasta 350 m de espesor) y Miembro Fredonia (arenitas y lutitas, eventualmente estratos delgados de carbón, con un espesor mayor de 1000 m). Recientemente se ha planteado una subdivisión aloestratigráfica teniendo en cuenta que en la unidad se pueden identificar tres discontinuidades de importancia regional (Guzmán, 2003): en la base se tiene una inconformidad, en la parte media del “Miembro Sabaletas” se observa una disconformidad y en el límite entre los Miembros Sabaletas y Fredonia, otra disconformidad. De esta manera se tienen tres alomiembros: Alomiembro inferior de aproximadamente 130 m, Alomiembro Medio de 330 m y el Alomiembro Superior de más de 1000 m. Según Van der Hammen (1958) la unidad es Oligocena Superior-Miocena Inferior.

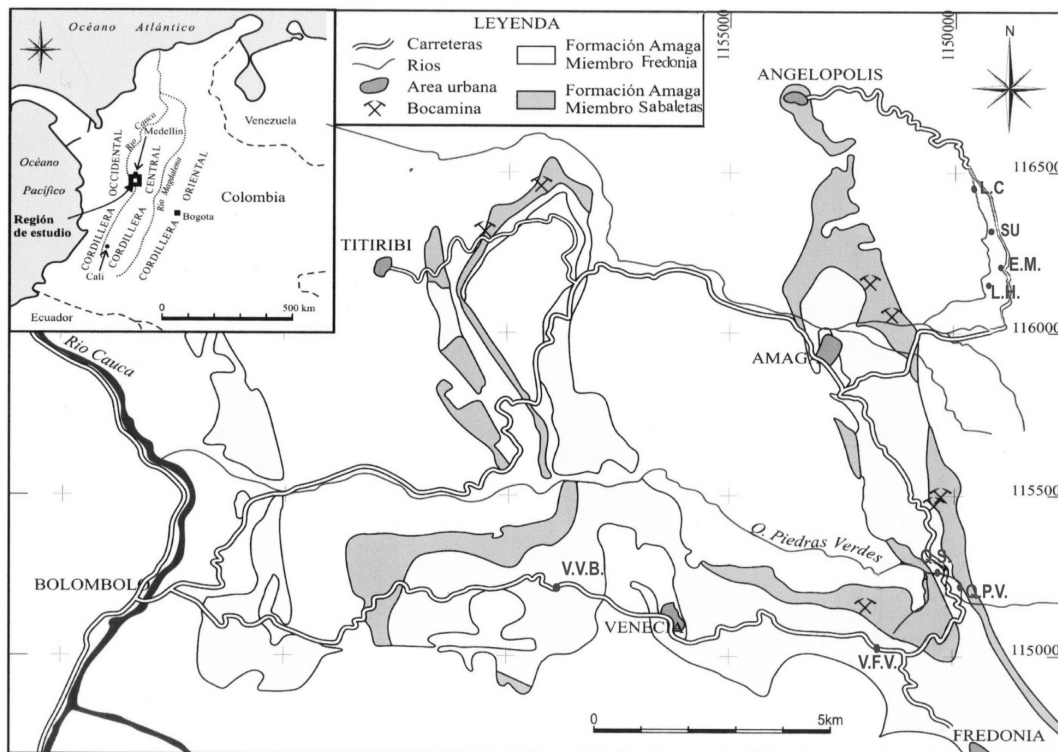


FIGURA 1. Mapa de localización y ubicación de las columnas estratigráficas levantadas. L.C: La Clara; SU: Sumicol; E.M.: Estación Minas; L.H.: La Hondura; Q.S.: Quebrada Sinifaná; Q.P.V.: Quebrada Piedras Verdes; V.F.V.: Vía Fredonia-Venecia; V.V.B.: Vía Venecia-Bolombolo. Modificado de Muñoz (2004).

Los aspectos petrográficos sólo se han trabajado recientemente. Guzmán (1991) propone como unidades fuentes el Granito de Amagá, la Formación Quebradagrande y posiblemente el Complejo Polimetarmófico de la Cordillera Central asociados a dominios de bloques continentales y orógenos reciclados. Posteriormente Carmona (1997) concluye que el cementante común a todas las rocas es de naturaleza calcárea y agrega que el ambiente bajo el cual se generaron los carbonatos, particularmente la siderita correspondió posiblemente a un ambiente anóxico, no sulfhídrico, metánico. Establece que las rocas presentan una historia diagenética simple que no produce cambios significativos en los caracteres originales de los sedimentos.

Murillo (1998) hace un estudio petrográfico del “Miembro Inferior” e interpreta que los granos fracturados, plegados, “intruidos” (sic) los blandos por los duros, los sobrecrecimientos de sílice en cuarzo, las texturas de disolución, poikilotópica y estilolítica de calcita y la abundancia de óxidos de hierro son el producto de un intenso proceso diagenético; anota que existe una interacción entre la diagénesis de la materia orgánica y la diagénesis de la materia inorgánica.

Correa y Silva (1999) concluyen que en el “Miembro Superior” las arenitas fueron sometidas a un enterramiento que alcanzó hasta 3.5 Km. de profundidad a unas temperaturas entre 90 °C y 150 °C produciendo disolución de cuarzo y plagioclasas, deformación de micas y esquistos, cloritización de fragmentos de roca, anfíboles, micas y feldespatos, presencia de sílice dentro de fracturas y albitización de plagioclasas. Sugieren que la actividad tectónica y la acción de intrusivos produjeron efectos hidrotermales y altas temperaturas y presiones que favorecieron la disolución de los carbonatos. Correa *et al.* (2001) plantean que el alto contenido de fragmentos volcánicos en el “Miembro Superior” sugiere un aporte de la Formación Combia. Desde el punto de vista diagenético reportan cementos carbonatados (poikilotópico y tipo spar), de hematita y de sílice (microcuarzo) así como sobrecrecimientos de cuarzo.

MARCO GEOLÓGICO

La Formación Amagá aflora en una serie de cuencas sedimentarias dispuestas en sentido aproximado N-S siguiendo la orientación general del Sistema de Fallas Cauca-Romeral. Guzmán (1991) considerando aspectos sedimentológicos concluye que las cuencas son

de tracción. El basamento de la unidad corresponde al denominado Complejo Polimetarmófico de la Cordillera Central, conformado por metasedimentos y anfibolitas de probable edad paleozoica; otras unidades preTerciarias son el Granito de Amagá, Triásico y el Complejo Quebradagrande, compuesto de rocas metasedimentarias y metavolcánicas, de edad probable Cretácica Temprana. Suprayaciendo discordantemente la Formación Amagá se encuentra la Formación Combia, una unidad volcanosedimentaria Miocena Tardía-Pliocena Temprana, también existen cuerpos intrusivos andesíticos y dacíticos de similar edad. Estas dos últimas unidades están asociadas a una zona de subducción en el oeste de Colombia.

METODOLOGÍA

Inicialmente se hizo un trabajo de campo para lo cual se levantaron columnas semidetalladas a escalas desde 1:100 a 1:500; el material a coleccionar fue principalmente arenitas pero en algunos casos también se tomaron muestras de conglomerados y lutitas. El número total de muestras ascendió a 100, de las cuales se hicieron 60 secciones delgadas. A cada una de estas se le hizo un conteo de 300 puntos, y se procedió a su clasificación siguiendo la propuesta de Folk (1974) para arenitas. Complementariamente se hizo una determinación de tectofacies siguiendo la propuesta de Dickinson (1985). La parte central del estudio consistió en la identificación y establecimiento de los productos diagenéticos y la sucesión de eventos.

RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de facilitar la descripción y el análisis de los datos se puede dividir en tres áreas las muestras seleccionadas. La primera se localiza en la parte norte entre Amagá y Angelópolis; la segunda entre Amagá y Palomos y una tercera entre Fredonia y Venecia. (FIGURA 1). En el área norte se encuentran las columnas de la quebrada La Clara, La Mina El Chocho, Sumicol y Mina La Hondura, todas se ubican en el Alomiembro Medio. En la zona entre Amagá y Palomos se estudiaron las columnas de Palomos, Sinifaná y Piedras Verdes pertenecientes a los tres alomiembros. En la zona comprendida entre Fredonia y Venecia se estudiaron dos secciones del Alomiembro Superior, en las vías Fredonia-Venecia y Venecia-Bolombolo.

Clasificación de las muestras. En el área de Amagá-Angelópolis las muestras se ubican en los campos de sublitoarenitas, subarcosas y cuarzoarenitas; no se observa ninguna tendencia clara con respecto a la posición estratigráfica en las columnas, hay un leve predominio de las cuarzoarenitas y sublitoarenitas sobre las subarcosas. En Amagá-Palomos se nota una mayor dispersión en los datos. Sin embargo, en la sección de la Quebrada Sinifaná se alcanza a evidenciar una variación del tipo de arenita de base a techo, de subarcosas y sublitoarenitas a arcosas líticas, litoarenitas feldespáticas y aisladamente litoarenitas. En la zona Fredonia-Venecia hay mucha variedad aunque predominan sublitoarenitas y subarcosas, siguiendo en proporción litoarenitas.

Proveniencia y Tectofacies. En la zona Amagá-Angelópolis las arenitas provienen de cratón interior y de orógeno reciclado cuarzoso. En el área de Amagá-Palomos, se nota un comportamiento diverso; es de anotar que en la Quebrada Sinifaná se infiere una tendencia hacia el techo pasando de cratón interior a orógenos reciclados cuarzosos y orógenos reciclados transicionales. En la zona Fredonia-Venecia el comportamiento es muy variable, las muestras proceden de cratón interior y orógenos reciclados, principalmente cuarzosos y en menor proporción transicionales y líticos; aisladamente se tiene proveniencia de arco transicional.

Reconsiderando la información se puede plantear que las unidades fuente de los sedimentos fueron el Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central, el Granito de Amagá, el Complejo Quebradagrande y probablemente la Formación Combia. Un dato nuevo que confirma esta última interpretación es la presencia de plagioclasas zonadas en la parte superior de la unidad en particular hacia el techo de la sección de la Quebrada Sinifaná y en la columna de Fredonia-Venecia. La existencia de intraclastos de arenita relativamente compactos en la parte superior de la unidad lleva a plantear la discusión con respecto a si la parte inferior se habría levantado y serviría de fuente de sedimentos.

Paragénesis, productos y procesos diagenéticos. Hay que tener presente que la identificación precisa de los minerales diagenéticos no es posible sólo a partir de secciones delgadas; por este motivo todos los cementos carbonatados se agrupan en una sola categoría. Los criterios seguidos para definir la historia diagenética son esencialmente los propuestos por Fuchtbauer (1983), Burley *et al.* (1985) y Martin *et al.* (1994).

En el área de Amagá-Angelópolis (TABLA 1) probablemente el primer proceso que se presentó fue la deformación mecánica de micas teniendo en cuenta la existencia de micas deformadas dentro de los diferentes tipos de cementos, principalmente carbonatados. Hay que tener presente que la cementación se dio relativamente temprana como se puede deducir del alto volumen intergranular (hasta 80%), del bajo empaquetamiento y de los pocos contactos cóncavo-convexos; esto sugiere que la cementación impidió una compactación significativa de los sedimentos.

Los cementos se originan en varias generaciones. La primera corresponde probablemente a los cementos peliculares hematíticos y cloríticos que impiden la corrosión de granos de cuarzo por cementos carbonatados (FIGURA 2). Marginalmente también se pudo haber formado cemento silíceo de poros asociado con porosidad primaria ya que se encuentra corroído por cementos carbonatados. Seguidamente se tienen los cementos carbonatados de poros y basal (FIGURA 2), no existen relaciones claras para establecer cuál se formó primero por lo que se asumen simultáneos a partir de sus relaciones con otros productos diagenéticos.

Posterior a la formación de los cementos carbonatados se dan procesos de corrosión que afectan granos de cuarzo (FIGURA 2), plagioclasa, feldespato potásico y probablemente hay algo de infiltración a lo largo del clivaje de las micas y de la foliación de los fragmentos de esquistos. Esta corrosión inicia el proceso de metasomatismo por carbonato (FIGURA 2). El metasomatismo de micas por óxidos de hierro no se puede ubicar con certeza, su coexistencia con el metasomatismo por carbonato sugiere que pueden ser contemporáneos, sin embargo la existencia de micas totalmente reemplazadas por óxidos de hierro, sin carbonatos, indica que posiblemente algunos óxidos de hierro son anteriores y por este motivo no se pudo dar el metasomatismo por carbonatos.

Los procesos neomórficos, que afectan parcialmente cementos carbonatados y reemplazamientos carbonatados de granos de cuarzo, son los que se suceden a continuación. Posterior a los cementos carbonatados se presenta algo de disolución llevando a la formación de porosidad secundaria. Aisladamente esta porosidad es destruida por cemento silíceo.

Existen procesos, de importancia menor, que con la información obtenida no es posible ubicarlos con precisión

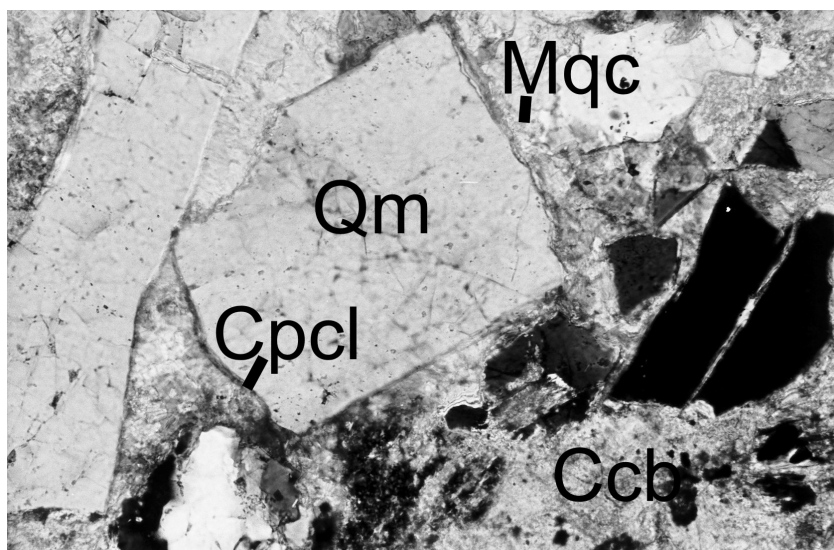


FIGURA 2. Sublitoarenita en la que se puede apreciar cuarzo monocristalino (Qm) corroído por cemento carbonatado , cemento carbonatado basal (Ccb), cemento pelicular de clorita (Cpcl) impidiendo corrosión por cemento carbonatado y metasomatismo de cuarzo por carbonato (Mqc); muestra M22 – Mina La Hondura. 100x

en el tiempo como son: la caolinitización de feldespatos, aparentemente, debido a que los granos alterados están corroídos por cemento, es más temprana que los cementos carbonatados; la recristalización de la matriz arcillosa, posiblemente asociada a un incremento en la profundidad por lo que podría ser tardía; y el pigmento de óxidos de hierro posiblemente posterior a los cementos carbonatados ya que tiñe tanto la matriz como los cementos carbonatados.

En el área de Amagá-Palomos la paragénesis diagenética es esencialmente la misma aunque se observa una mayor variedad en los procesos. Es importante la cloritización relativamente abundante de micas.

La paragénesis del área Fredonia-Venecia difiere ya que la compactación jugó un papel mucho más importante en las primeras etapas generándose contactos cóncavo-convexos (alcanzando hasta 25 %) y deformación mecánica de micas. Como consecuencia la importancia de los cementos y del metasomatismo asociado decrece aunque la historia diagenética es semejante. En una etapa tardía se tienen procesos neomórficos, principalmente la recristalización de la matriz arcillosa. La caolinitización probablemente fue un proceso temprano ya que existen clastos de feldespatos casi totalmente caolinitizados rodeados de cemento pelicular ferruginoso. De igual manera

la cloritización de micas y fragmento líticos básicos parece ser un proceso temprano ya que se encuentra afectado levemente por el metasomatismo por carbonatos.

Relación con las etapas diagenéticas. La etapa eogenética temprana en las áreas Amagá-Angelópolis y Amagá-Palomos corresponde a condiciones anóxicas dándose precipitación de clorita (Boggs, 1992) y posteriormente de siderita (detectada en afloramiento). Probablemente en esta etapa los carbonatos estarían en la zona Me en la que ocurre metanogénesis bacteriana (Morad, 1998 y Morad *et al.*, 2000). Posteriormente se presenta un cambio en las condiciones ya que sucede la precipitación aislada de cemento silíceo asociada con condiciones óxicas; es posible que la precipitación se haya producido directamente a partir de aguas subterráneas proveniente de disolución de granos de feldespatos a profundidades muy bajas (Burley *et al.*, 1985). Con los datos disponibles no se puede definir cuál fue la causa del cambio en el Eh.

En el área de Fredonia-Venecia debido al contenido relativamente alto de fragmentos inestables el principal producto eogenético es la clorita, relacionado con condiciones anóxicas. Se pueden plantear condiciones similares para el origen de nódulos sideríticos. Posiblemente las últimas etapas de la eogénesis estuvieron asociadas con aguas óxicas que originan cemento silíceo.

Durante la mesogénesis en las áreas de Amagá-Angelópolis y Amagá-Palomos sucede la caolinitización asociada con aguas intersticiales pobres en sólidos disueltos, con un valor bajo de pH y meteóricas (Zimmerle, 1995). Al avanzar la mesodiagénesis se produce la decarboxilación de la materia orgánica entrándose en la zona D (Morad, 1998); bajo estas condiciones se da la precipitación de los cementos carbonatados. Es posible que se hayan generado cementos tanto sideríticos como calcíticos y de otros tipos carbonatos. El primero puede provenir del cemento formado durante la eogénesis en tanto que el segundo puede originarse a partir de la disolución y caolinitización de plagioclasas intermedias que podrían ser una fuente de Ca. El movimiento hacia abajo de las aguas meteóricas a través de diferentes litologías también pudo haber suministrado cantidades importantes de Ca, Mg y Fe.

Como consecuencia de una sobresaturación en carbonatos de las aguas infiltradas con respecto a los minerales que son reemplazados se produce la corrosión y posterior metasomatismo de granos de cuarzo, feldespatos y cementos silíceos. A mayores temperaturas, oscilando aproximadamente entre 120 °C y 160 °C, la máxima temperatura inferida para la zona, el sistema se desplaza hacia un valor bajo de pH iniciándose un proceso de disolución de los cementos carbonatados (Surdam *et al.*, 1989). En el caso del área Fredonia-Venecia la compactación de los sedimentos redujo la porosidad y la permeabilidad de los sedimentos lo que no permitió una migración abundante de aguas meteóricas aunque las condiciones generales fueron esencialmente las mismas.

Durante la telogénesis las condiciones fueron similares para las tres áreas. Probablemente las aguas tuvieron un carácter alcalino lo que favoreció la precipitación de cementos carbonatados que destruyen la porosidad secundaria previamente formada durante la mesogénesis. Las condiciones oxidantes presentes en esta etapa produjeron la oxidación de carbonatos de hierro y minerales ferromagnesianos generando la hematita que se encuentra a manera de pigmento en los sedimentos. Es posible que parte de la caolinita y de la clorita se hayan originado durante la telogénesis como consecuencia de meteorización.

Historia de enterramiento. A partir de los valores de reflectancia medidos en los carbones (entre 0.4 % y 0.5%) se pueden estimar profundidades máximas de

enterramiento entre 1500 m y 3500 m y temperaturas máximas entre 100°C y 120°C según lo postulado por Heling & Teichmuller (1974 en Allen y Allen, 1990). Debido a la intrusión de pórfidos el gradiente geotérmico es más alto que el normal, es probable entonces que la profundidad haya sido menor y la temperatura mayor a las estimadas.

Regímenes hidrogeológicos. Teniendo presente lo propuesto por Galloway (1984) y Harrison y Tempel (1993) en el caso de las áreas de Amagá-Angelópolis y Amagá-Palomos parece existir un paso de aguas meteóricas (asociadas con cementos peliculares cloríticos, disolución de granos detríticos, cementos aislados de calcedonia y probablemente cemento calcítico) a aguas compactacionales (relacionadas con lixiviación de cementos tempranos y metasomatismo de granos y de cementos) y posiblemente aguas termobáricas (si existen carbonatos ferrosos). En el caso del área Fredonia-Venecia la evaluación es más difícil de realizar ya que la acción de los intrusivos no permite estimar con relativa precisión la máxima profundidad alcanzada por los sedimentos. Es probable que hayan actuado aguas meteóricas y aguas compactacionales. Debido a la acción de los intrusivos y la posición estratigráfica es factible que los sedimentos se hayan profundizado menos que en las otras dos áreas., como consecuencia es posible que no se hayan dado las condiciones necesarias para que actuaran las aguas termobáricas.

CONCLUSIONES

En la Formación Amagá se puede establecer que los sedimentos han pasado por las diferentes etapas de la diagénesis. En la eogénesis hay condiciones principalmente anóxicas en las que los carbonatos se encuentran en la zona Me. La mesogénesis correspondió en su inicio esencialmente a aguas meteóricas, de bajo pH; en estados más tardíos los carbonatos se encuentran en la zona D, iniciándose abundante precipitación de cementos, posteriormente hay procesos de corrosión y metasomatismo y finalmente hay disolución de cementos. En la telogénesis se tienen condiciones alcalinas y oxidantes con generación de cementos carbonatados y hematita. Se infiere en general una variación en los regímenes hidrogeológicos pasando de aguas meteóricas a compactacionales y posiblemente termobáricas.

TABLA 1. Secuencia paragenética establecida para el área de Amagá – Angelópolis.

	Diagénesis temprana	Diagénesis Tardía
Deformación mecánica de micas	■	
Cemento de poros silíceo	—	
Cemento de poros ferruginoso	—	
Cemento pelicular de clorita	—	
Cemento pelicular ferruginoso	—	
Cemento carbonatado de poros	■	
Cemento basal carbonatado	■	
Metasomatismo de cuarzo por carbonato		■
Metasomatismo de plagioclasa por carbonato		■
Metasomatismo de feldespato alcalino por carbonato		■
Metasomatismo de micas y fragmentos de esquistos por carbonato		■
Metasomatismo de mica por óxido de hierro	- ? - ? - ? - ? - ?	
Corrosión de cuarzo por carbonato	■	
Corrosión de plagioclasa por carbonato	■	
Corrosión de cemento silíceo por cemento carbonatado	—	
Caolinitización de feldespatos	- ? - ? - ? -	
Neomorfismo agrandante de cemento carbonatado		- ? - ? - ? - ? - ?
Neomorfismo agrandante de metasomatismo de cuarzo		—
Neomorfismo degradante de cemento carbonatado		- ? - ? - ?
Recristalización de matriz arcillosa		- ? - ? - ?
Porosidad de disolución		■
Cemento ferruginoso de pigmento		■

■ Importancia mayor ■ Importancia media — Importancia baja

La interpretación hecha en el presente trabajo debe considerarse como preliminar. Las conclusiones obtenidas han de ser analizadas de nuevo empleando técnicas más precisas tales como estudios isotópicos, observaciones con microscopio electrónico y uso de catodoluminiscencia.

REFERENCIAS

- Allen, P.A., Allen, J.R.L. (1990). *Basin Analysis*. Blackwell Soc. Publ. Oxford, 451 p.
- Boggs, S. (1992). *Petrology of Sedimentary Rocks*. McMillan Publish. Comp, New York, 707 p.
- Burley, SD., Kantorowicz, JD. and Waugh, B. (1985). Clastic diagenesis. In: Brenchley, PJ and Williams, BP. (eds.) *Sedimentology- Recent Developments and Applied Aspects*. Geol. Soc., London, pp. 189-228.
- Carmona, I. (1997). Algunas consideraciones sobre la Petrología de la Formación Amagá. *Boletín de Ciencias de la Tierra* No. 12, pp. 18-38.
- Correa, I., Silva, J. (1999). *Estratigrafía y Petrografía del Miembro Superior de la Formación Amagá en la Sección El Cinco-Venecia-Qda. La Sucia*. Venecia, Antioquia. Tesis de grado Universidad EAFIT. Medellín. 47 p.
- Correa, I., Silva J.C. y Sierra G. (2001) *Petrología de Areniscas y Proveniencia de la Formación Amagá Cuenca del Río Cauca Noroccidente de Colombia*. Memorias VIII Congreso Colombiano de Geología, Manizales, 12 p.
- Dickinson, W.R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G., (ed.) *Provenance of arenites*. Dreidel, pp. 333-361.
- Folk, R. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas: Hemphill. 182 p
- Fuchtbauer, H (1983). Facies controls on Sandstone Diagenesis. In: Parker, A.& Sellwood, BW. (eds.). *Sediment diagenesis*, Reidel Publishing Co, pp. 169-213.
- Galloway, W.E. (1984). Hydrologic regimes of sandstone diagenesis. In: MacDonald, DA. and Surdam, RC. *Clastic diagenesis*. Am. Assoc. Petr. Geol. Mem 37, pp. 3-14.
- González, H. (1980). Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). *Bol. Geol. INGEOMINAS*. Vol. 23 (1), 174 p.
- Grosse, E. (1926). *El Terciario Carbonífero de Antioquia*. Berlín: Dietrich Reimer. E. Vohsen, 321 p.
- Guzmán, C. (1991). Condiciones de depositación de la Formación Amagá entre Amagá y Angelópolis. Tesis Ms.Sc. Ciencia y Técnica del Carbón. Univ. Nal. Medellín, 197 p.
- Guzmán, C. (2003). Clasificación, origen y evolución de las cuencas sedimentarias asociadas con la Formación Amagá. Memorias (en C.D) VI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del carbón. Medellín.
- Harrison, W. and Tempel, R. (1993). Diagenetic Pathways in Sedimentary Basins. In: Horbury, AD., Thompson, AG. *Diagenesis and Basin Development*. AAPG Studies in Geology 36, pp.69-86
- Martin, KR., Baker, JC., Hamilton, PJ and Thrasher, GP. (1994). Diagenesis and Reservoir Quality of Paleocene Sandstones in the Kupe South Field, Tranaki Basin, New Zealand. *Am.Assoc. Petr. Geol. Bulletin*, V.78 No. 4 , pp. 624-643.
- Morad, S. (1998). Carbonate cementation in sandstones: distribution patterns and geochemical evolution. In: Morad, S. (ed.). *Carbonate cementation in Sandstones*. Spec. Public.Int. Assoc. Sedim. 26, pp. 1-26.
- Morad, S., Ketzer, J.M. and De Ros, F. (2000). Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins. *Sedimentology* 47 (Supplement 1), pp. 95-120.
- Murillo, S. (1998). *Petrografía de las areniscas de la secuencia Quebrada La Sucia-Mina Palomos*. Miembro inferior de la Formación Amagá. Tesis de grado. Universidad EAFIT. Medellín. 150 p.
- Muñoz, P. (2004). *Reconstrucción de la Paleovegetación de un manto de carbón (Manto 1, Mina Palomos) de la Formación Amagá (Antioquia)*. Tesis de grado. Ing. Forestal. U. Nal. Medellín. 50 p.
- Surdam, R.C., Crossey, L.J., Hagen, E.S., and Heasler, H.P. (1989). Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis. *Am.Assoc. Petr. Geol. Bulletin*, Vol. 73, pp. 1-23.
- Van der Hammen, T. (1958). *Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano y tectogénesis de los Andes Colombianos*. *Bol. Geol. Bogotá*, Vol 6. No. 2, pp. 67- 128.
- Zimmerle, W. (1995). *Petroleum Sedimentology*. Ed. By Beckman, H., 372 p.

Trabajo recibido: febrero 16 de 2007
Trabajo aceptado: mayo 31 de 2007