

## CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS, QUÍMICAS Y PALINOLÓGICAS DE UN MANTO DE CARBÓN DE LA FORMACIÓN AMAGÁ Y SU RELACIÓN AL PALEOAMBIENTE

---

---

*Astrid Blandón<sup>1</sup>, Fredy Arango<sup>2</sup> y Alejandro Restrepo<sup>3</sup>*

*1. Escuela de Materiales*

*2. Posgrado en Ingeniería de Materiales y Procesos*

*3. Laboratorio de Carbones*

*Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia*

*asblando@unalmed.edu.co, farango0@unalmed.edu.co, alejorestrepo@epm.net.co*

Recibido para evaluación: 31 de Agosto de 2005 / Aceptación: 26 de Octubre de 2005 / Recibida versión final: 08 de Noviembre de 2005

### RESUMEN

Se colectaron y se analizaron de manera petrográfica, química y palinológicamente once muestras de asociaciones de litotipos de carbón en la variación vertical del manto 1 de la mina El Bloque que se encuentra ubicada en el municipio de Amagá (Antioquia). Estos análisis permiten concluir que la turbera precursora del carbón se formó bajo condiciones principalmente reotróficas (pantano planar), reductoras y con altos niveles freáticos. Además la presencia de *Zonocostites ramonae* junto con algunos dinoflagelados sugiere que la turbera estuvo expuesta a incursiones marinas.

**PALABRAS CLAVES:** Carbón, Petrología, Palinología, Formación Amagá.

### ABSTRACT

Eleven samples of associations of lithotypes of coal in the vertical variation were collected of the Seam 1 of the El Bloque coal mine that is located in the municipality of Amagá (Antioquia). Then petrographic, palynological and chemical analyses were made. These analyses allow, to conclude that the paleomire that originated the m1 coal of the El Bloque coal mine was mainly associated to rheotrophic conditions, planar swamp with high freatic levels. Also the presence of *Zonocostites ramonae* together with some dinoflagelattes suggests that the paleomire was exposed to marine incursions.

**KEY WORDS:** Coal, Petrology, Palinology, Amagá Formation

## 1. INTRODUCCIÓN

Diversos estudios se han hecho de la Formación Amagá con miras a determinar su ambiente depositacional (Campuzano, 1977; Guzmán y Sierra 1984; Escobar y Rozo 1984; Escobar, 1990; Guzmán, 1991). Estos estudios muestran diferentes interpretaciones y modelos conceptuales acerca del ambiente donde se depositaron las rocas de la Formación Amagá, planteando dos hipótesis distintas: La primera aboga por un ambiente de condiciones fluviales intracontinental (Guzmán, 1991) y la segunda por un ambiente de condiciones estuarinas y abierto a incursiones marinas (Escobar, 1990). Argumentos sedimentológicos (presencia de facies asociadas con abanicos aluviales, “ausencia de sedimentos marinos someros y de frente deltaico”) respaldan la primer teoría (Guzmán y Sierra, 1984; Guzmán, 1991) y argumentos palinológicos (presencia de polen y esporas que son indicadores de ambientes de manglar y microfauna de origen marino) respaldan la segunda teoría (Escobar y Rozo, 1984; Escobar, 1990).

En este estudio se hace una aproximación a la reconstrucción del ambiente depositacional bajo el cual se originaron los carbones del “manto 1 de la mina El Bloque” (Formación Amagá).

Estudios previos (Eble y Grady, 1993; Calder, 1993; Mastalerz et al., 2000; Eble et al., 2003) han mostrado la efectividad de combinar la petrografía y la palinología para la reconstrucción paleoambiental de la turba formadora del carbón. La clasificación de las turbas se basa generalmente sobre la hidrología, específicamente sobre la fuente (agua subterránea y/o agua de lluvia), composición y concentración iónica del agua. Los pantanos formadores de turbas se clasifican en reotróficos (forma planar), ombrotóficos (forma convexa) y mesotóficos que es un intermedio entre los dos anteriores. En general los pantanos reotóficos reciben recarga tanto del agua subterránea como del agua de lluvia, y los pantanos ombrotóficos reciben recarga solamente del agua de lluvia.

### Geología de la Formación Amagá

Esta unidad sedimentaria fue descrita por Grosse (1926) quien la denominó “Terciario Carbonífero de Antioquia” y la dividió en tres pisos de acuerdo con el contenido de mantos de carbón explotables. La nomenclatura más utilizada es la de González, 1980 quien le da el nombre de Formación Amagá y la divide en los miembros inferior, medio y superior de acuerdo con el contenido de los mantos de carbón.

Guzmán 1991 efectúa una revisión lexicoestratigráfica de la Formación Amagá y propone una nomenclatura formal en donde define los Miembros: Peñitas, Sabaletas y Fredonia, mostrando nuevas secciones tipos. Dicha nomenclatura aún no ha sido aceptada.

La edad de esta Formación es también controversial ya que las edades que le han asignado van desde el Eoceno hasta el Mioceno, pero el rango de edad más aceptado para el origen de las sedimentitas de la Formación Amagá es Oligoceno Superior a Mioceno Inferior (Van der Hammen, 1958).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los carbones fueron colectados y examinados en el “manto 1 (m1)” de la mina El Bloque que se encuentra ubicada al sur-occidente del departamento de Antioquia en jurisdicción del municipio de Amagá (Figura 1).

El muestreo se hizo por litotipos en la variación vertical del manto de carbón y se describieron de acuerdo a una clasificación modificada de (Taylor et al., 1998). Los litotipos menores de 1cm de espesor y/o discontinuos en cortas distancias fueron incluidos dentro de litotipos adjuntos, conformando generalmente asociación de litotipos. Cada asociación de litotipos fue colectada como muestras de canal con una profundidad de 6 cm y un ancho de 8 cm aproximadamente, (ver Figura. 2).

Se colectaron en total 11 muestras y se prepararon para análisis petrográficos, palinológicos y químicos. Las muestras se dejaron secar al aire libre durante 24 horas. Las preparaciones para análisis petrográficos se hicieron de acuerdo a la norma ISO 7404-2 (1985) y para análisis químicos se prepararon y analizaron de acuerdo a las normas ASTM (1995). También se prepararon muestras para pirolisis Rock-Eval con una granulometría pasante malla 70, es decir menor de 0.25 mm. El proceso de preparación de las muestras de carbón para análisis palinológicos se hizo según lo establecido por Blandón et al., 2003. Los análisis petrográficos se hicieron para cada asociación de litotipos según lo establecido por la ISO 7404-3 (1994). Estos análisis se llevaron a cabo usando un microscopio de luz reflejada marca Leitz MPV Combi, con un ocular de 10X, un objetivo para inmersión en aceite de 32 X y un sistema de fluorescencia con objetivo de 20X marca fluotar.

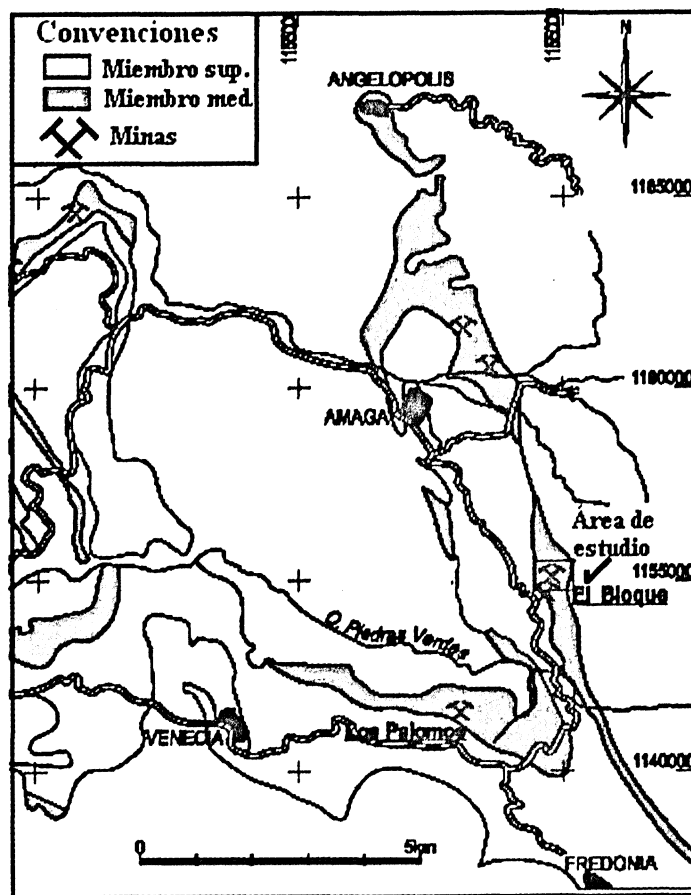


FIGURA 1.

Localización del sitio de estudio en la Formación Amagá. Modificado de (Blandón et al., 2004)

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Petrografía del carbón y análisis químicos

En el m1 de la mina El bloque, las asociaciones de litotipos dominantes son durenó y pequeñas bandas de vitrenó; no se encuentra fuseno (Figura. 2). Las asociaciones de litotipos varían entre 3 y 18.5 cm y el manto de carbón posee un espesor de 122 cm.

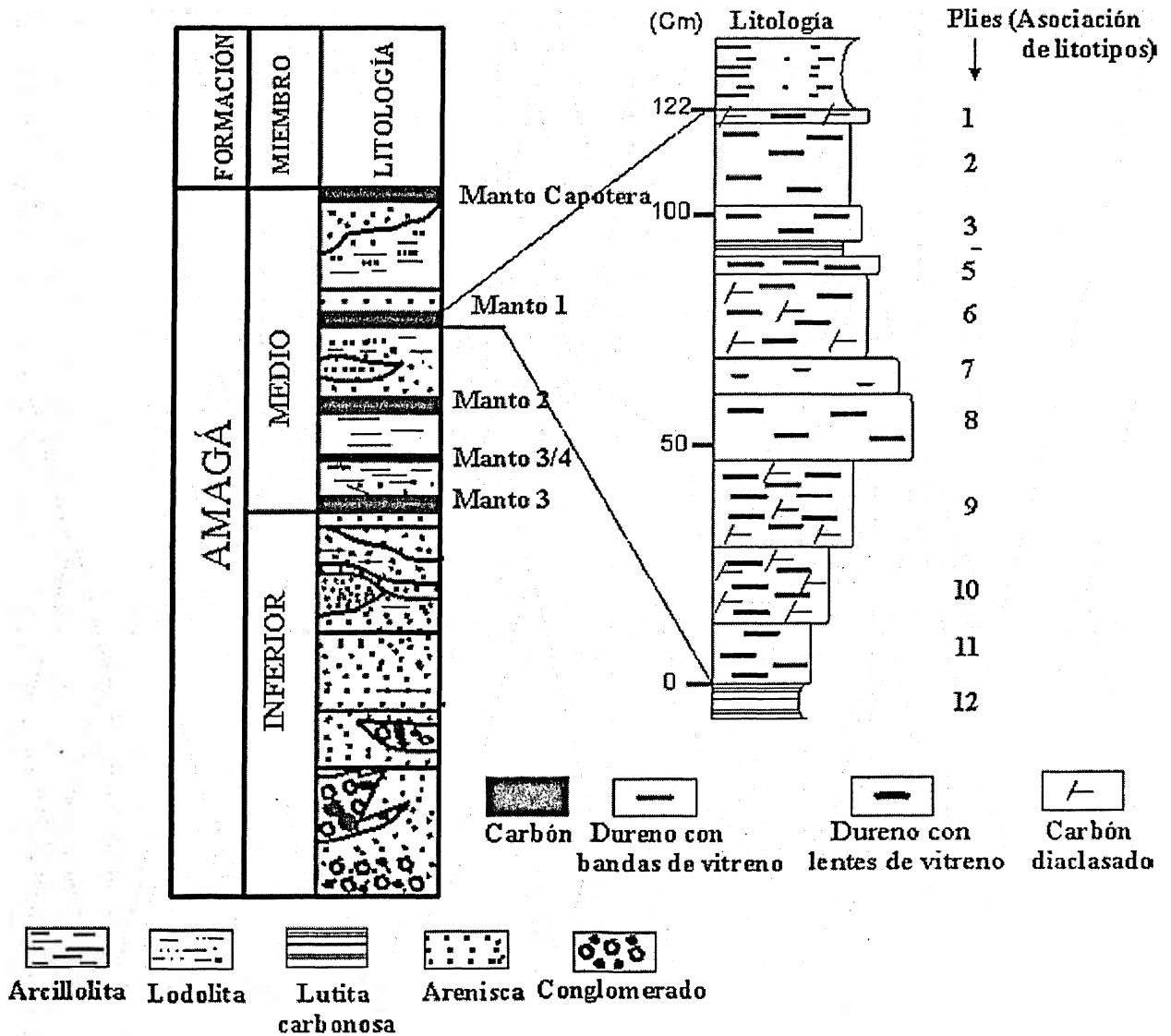


FIGURA 2. Asociación de litotipos del manto 1 de la mina El Bloque

Los litotipos están compuestos predominantemente de vitrinitas 63%, seguido del grupo de la liptinita con un promedio de 28%. Las asociaciones de litotipos con mayor porcentaje de vitrinita están en los niveles 3 y en el 7 con contenidos de 71.7 y 68.9% respectivamente. Los niveles con mayor contenido de liptinitas son 1 y 5 de 50.2% y 34.3% respectivamente (Figura.3). Las liptinitas están compuestas principalmente de liptodetrinitas y alginitas. Los contenidos de materia mineral en los carbones son en promedio de 7.8% y poseen sus mayores concentraciones en los niveles 1 y 5 con 12.9% y 10.4%. El contenido de inertinitas es muy pobre 2%, y está representado esencialmente por el maceral funginita.

Las concentraciones de azufre son bajas en promedio del 0.5%, teniendo las más altas concentraciones en el nivel 5 con 1.02%. Los mayores contenidos de índice de hidrógeno (niveles 1 y 5) correlacionan con altos contenidos de liptinitas y de azufre, aunque no siempre altos contenidos de azufre indican altos contenidos del índice de hidrógeno (Figura. 3).

El contenido de cenizas esta generalmente por debajo del 8%, exceptuando los niveles 1 y 5 que poseen los más altos contenidos 18.6 y 12.5% respectivamente (Figura. 3).

$$\text{Índice de Hidrógeno} = \frac{S_2(\text{ppm}) \times 10}{\% \text{COT}} \quad \text{ó} \quad \frac{S_2(\text{mg/gr}) \times 100}{\% \text{COT}},$$

Este se obtiene de los resultados del análisis de la muestra con el equipo de pirolisis Rock-Eval y en donde:

$S_2$ . Representa la capacidad generativa de hidrocarburos que permanece en la roca al tiempo del muestreo, y el % COT. Corresponde al carbono orgánico total que posee la muestra.

En la figura 3,  $\% \frac{S1+S2}{\text{COT}}$ , corresponde al índice de calidad (Sykes y Snowdon, 2002).

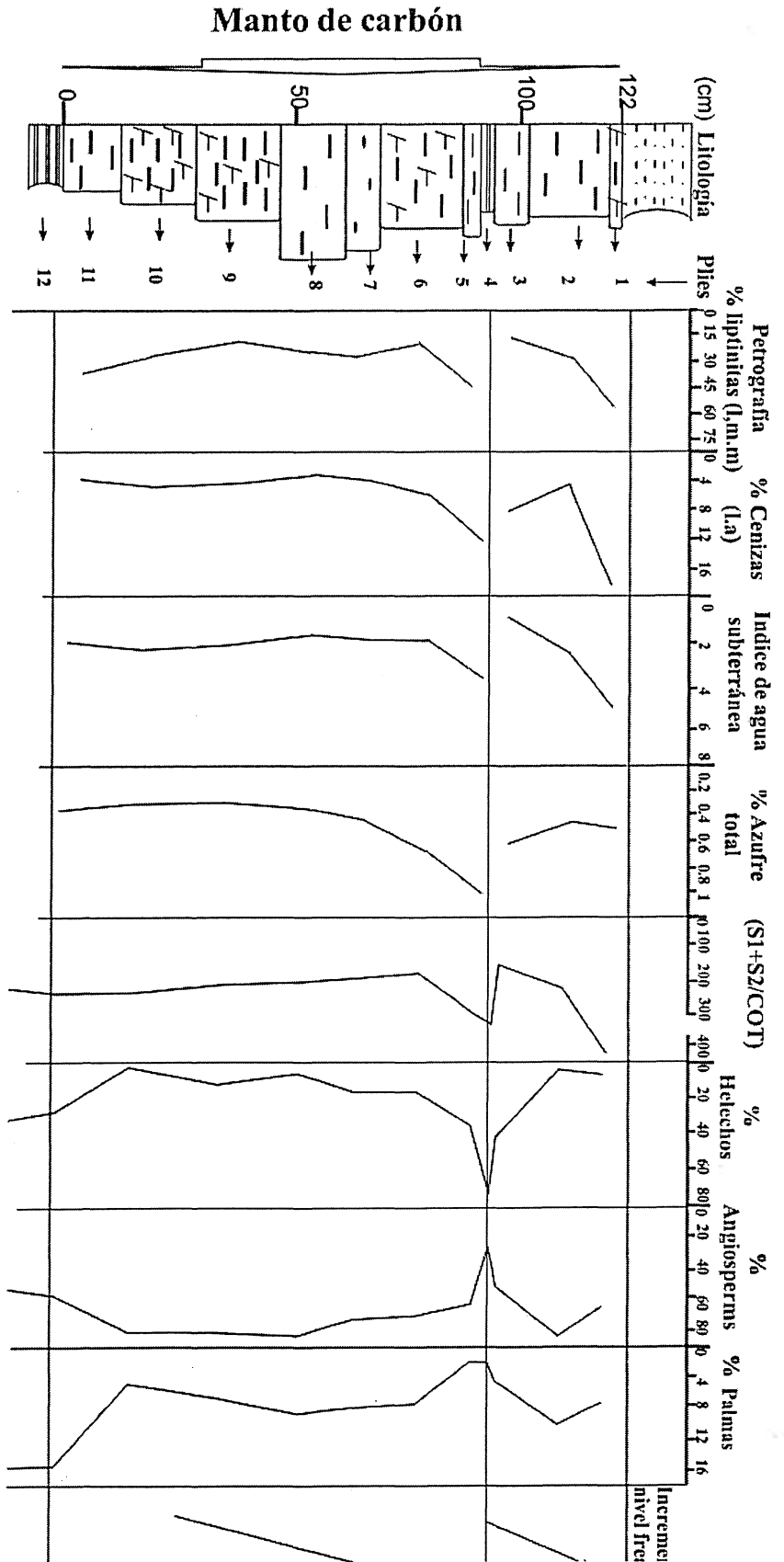
S1. Representa todo el hidrocarburo diagenético y catagenético presente en la roca antes de ser llevada al laboratorio. Este es un indicador de la cantidad de hidrocarburos que han ocurrido.

Calder et al. 1991 (en Calder, 1993), define un índice de agua subterránea (sus siglas en inglés Ground Water Index, G.W.I) como una relación de gelovitrinitas + detrovitrinitas (tejidos degradados física y bioquímicamente) + materia mineral contra telinita + colotelinita (tejidos estructurados y parcialmente estructurados). Aunque se discute la exclusión de corpogelinita por su origen incierto y el de la detrovitrinita por su posible afinidad con celulosa. Altos índices de influencia del agua subterránea correlacionan con altos contenidos de ceniza (Figura. 3).

### 3.2. Palinología

Los taxa dominantes en el ml de la mina El bloque son: *Retitricolporites irregularis*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Cyclusphaera euribei*, *Retitricolpites maledictus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Mauritiidites fransiscoi*, *Striatopollis catatumbus*, *Psilatricolporites transversalis*, *psilamonocolpites medius*, y en menor cantidad se encuentran *Psilatrilletes sp.*, *Psilamonoletes sp.*, *Equitrilletes sp.*, *Psilatricolporites operculatus*, *Zonocostites ramonae*, *Psilatricolporites amagensis*, *Verrucatotrilletes sp.*, y escasos *dinoflagelados* (Figura 4).

Se evidencia que asociaciones de litotipos muestran diferencias palinológicas en la variación vertical del m1 (Figura 3). Es así como el nivel 1, 5 y 10 presentan una marcada influencia de *Retitricolporites irregularis*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Cyclusphaera euribei*, *Retitricolpites maledictus*, *Striatopollis catatumbus* y alguna presencia de *Psilatricolporites transversalis* y *verrucatosporites usmensis*. Los niveles 2, 8, 9 y 11 están representados generalmente por *Retitricolporites irregularis*, *Psilatricolporites transversalis*, *Mauritiidites fransiscoi*, y en menor cantidad por *Spirosyncolpites spiralis*, *Striatopollis catatumbus*, *Retitricolpites maledictus*, *Zonocostites ramonae* y *dinoflagelados*. En los niveles 3, 6 y 7 se presentan *Retitricolporites irregularis*, *Retitricolpites maledictus*, *Mauritiidites fransiscoi*, *Psilamonocolpites medius* y *Zonocostites ramonae*. En las lutitas carbonosas (niveles 4 y 12) se presenta dominancia de esporomorfos psilados tales como: *Psilamonoletes sp.*, *psilatrilletes sp.*, *psilamonocolpites sp.*



**FIGURA 3.**  
Comparación entre petrografía, palinología y análisis químico del manto 1 de carbón de la mina el Bloque.

#### 4. DISCUSIÓN

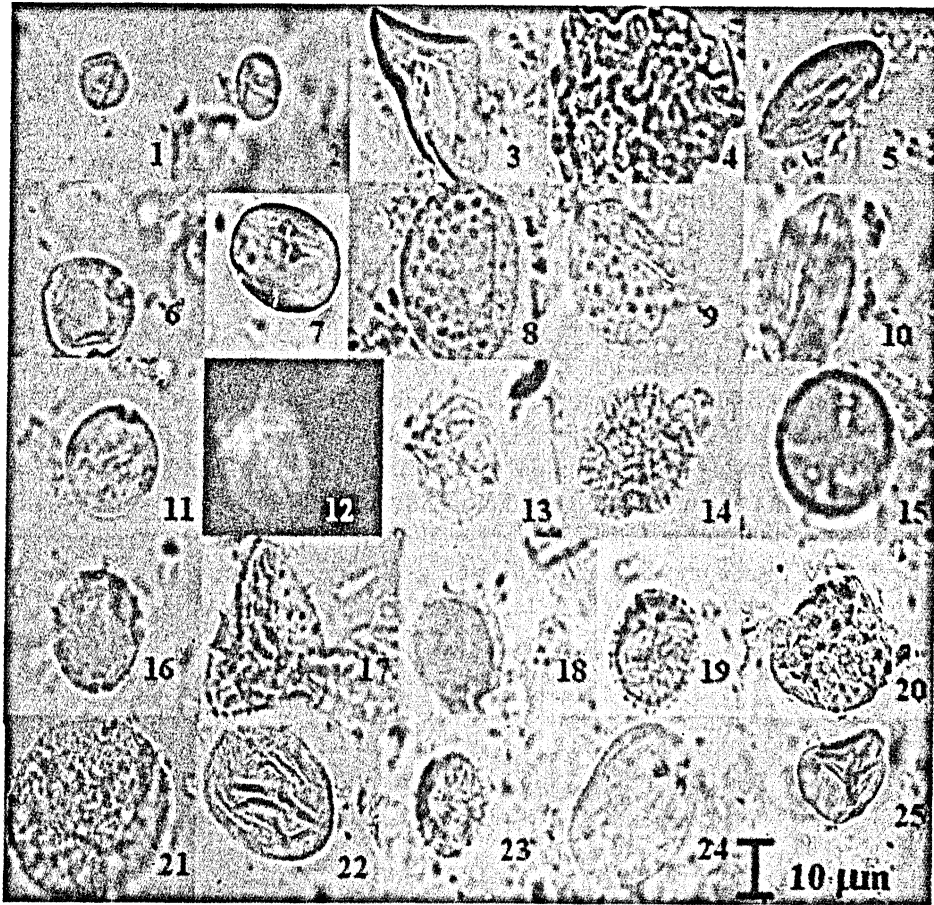
La examinación petrográfica y palinológica sugieren que la paleoturba que originó los carbones del m1 El Bloque estaba asociada principalmente a condiciones reotróficas (pantano planar) con altos niveles freáticos. Los valores más altos del nivel freático en los carbones se presentan justamente debajo de la influencia clástica (niveles 1 y 5), coincidiendo también con más altos índices de calidad (calculados a partir de los datos de pirólisis Rock-Eval), materia mineral (vista al microscopio), cenizas y azufre (obtenidos mediante los análisis próximos). El agua subterránea contiene niveles más altos de concentración de iones y nutrientes que el agua de lluvia (Eble et al., 2003), el cual podría contribuir a la formación de minerales autigénicos en el carbón.

Petrográficamente, el principal tipo de pirita que se observó en el m1 el Bloque fue pirita de forma framboidal y en cristales euhedrales. Estos son tipos de pirita singenética que se forma tempranamente con la acumulación de la turba (Eble et al., 2003). Esto indica que el agua que cubría la turba del m1 el Bloque fue ligeramente ácida a ligeramente básica, ya que la bacteria que forma la pirita framboidal es incapaz de estar bajo condiciones muy ácidas (Tylor et al., 1998). Además la pirita se forma únicamente bajo condiciones reductoras, ya que en presencia de oxígeno, el hierro siempre formaría óxidos en vez de sulfuros. Las condiciones reductoras son también sugeridas por el bajo contenido de inertinitas, lo cual en general indica una falta de oxidación dentro de la turba. El contenido de cenizas, azufre y petrología son consistentes con las características de un pantano planar ("planar mire") (Eble y Grady, 1993).

Palinológicamente el m1 el Bloque presenta mayor cantidad de granos de polen de angiospermas (> 60% en la mayoría de las muestras de carbón, tales como los plies 1, 2, 6, 7, 8, 9 y 10), seguido por esporas (< 10% en la mayoría de las muestras de carbón tales como los plies 1, 2, 6, 7, 8, 9 y 10 y mayor del 30% para los plies 3, 5, 11 y 12), por último los granos de polen de palma, los cuales aparecen por lo general en cantidades menores del 10%. Los niveles donde hay mayor cantidad de esporas (psiladas y algunas verrugadas) son las lutitas carbonosas (4 y 12) que están asociadas a los carbones.

La paleovegetación que hizo parte de los pantanos que generaron la turba son de condiciones principalmente fluvioc continentales como lo evidencian la gran cantidad de *Retitricolporites irregularis*, *Spirosyncolpites spiralis*, *Striatopollis catatumbus* y *Retitricolpites maledictus*. Los granos de polen de palma tales como *Mauritiidites fransiscoi* se desarrollan en zona bajas con medios pantanosos y cenagosos en climas húmedos y cálidos permanentemente inundados (Lorente, 1986), y la presencia de *Zonocostites ramonae* junto con escasos dinoflagelados indican que los carbones estuvieron abiertos a incursiones marinas. Los *Zonocostites* actualmente son originados por diferentes especies de *Rhizophora*, que es uno de los más importantes géneros de la vegetación de manglar (West, 1957 en Lorente, 1986).

En resumen, la mayoría de los diferentes plies del m1 el Bloque se generaron en zonas bajas, con altos niveles freáticos y en condiciones estuarinas o de delta inferior, donde se acumuló gran cantidad de materia orgánica terrestre y abierto a incursiones marinas como lo respaldan principalmente la presencia de *Zonocostites ramonae* y dinoflagelados. De acuerdo con esto se validan las interpretaciones dadas por (Escobar y Rozo, 1984; Escobar, 1990 y Dueñas, 1983) que proponen que los carbones y rocas asociadas al miembro medio de la Formación Amagá estuvieron abiertos a incursiones marinas y se formaron cercanos a la línea de costa.



1 y 2: *Zonocostites Ramonae* (ver en Lorente 1986, Jaramillo y Dilcher, 2001); 3: *Ciclusphaera euribei* (Shuler y Doubinge, 1970); 4: *Spirosyncolpites spiralis* (Shuler y Doubinge, 1970, Jaramillo y Dilcher, 2001); 5 y 10: *Striatopollis catatumbus* (Jaramillo y Dilcher, 2001); 6: *Psilatricolporites amagensis* (Shuler y Doubinge, 1970); 7: *Psilatricolporites transversales* (Lorente, 1986); 8: *Verrucatosporites* sp.; 9: *Verrucatosporites usmensis* (Jaramillo y Dilcher, 2001); 11 y 16: *Retiestephanoporites angelicus* (Shuler y Doubinge, 1970); 12, 13 y 18: dinoflagelados; 14 y 19: *Retitrescolpites irregularis* (Jaramillo y Dilcher, 2001); 15: *Perisyncolporites porkorny* (Jaramillo y Dilcher, 2001); 17: *Equitriletes* sp.; 20: *Verrucatotriletes* sp.; 21: *Mauritiidites fransiscoi* var. *Minor* (Jaramillo y Dilcher, 2001); 22: *Retitricolpites maledictus* (Lorente, 1986); 23: *Equitriletes* sp1; 24: *Psilamonoletes* sp; 25: *Psilatriteles* sp.

#### FIGURA 4.

Granos de polen, esporas y dinoflagelados del manto 1 El bloque

## 5. CONCLUSIONES

Macroscópicamente, el manto 1 de carbón en la mina El Bloque presenta más contenido de litotipos opacos.

Petrográficamente en el m1 El Bloque predominan generalmente vitrinitas 63%, exceptuando los niveles 1 y 5 que poseen grandes cantidades de liptinitas 50.2% y 34.3% respectivamente.

Palinológicamente se evidencia la dominancia de angiospermas, con cantidades importantes de helechos y algunos granos de polen de palma. También se verifica la existencia de granos de polen de *Rhizophora* (*Zonocostites ramonae*) y muy pocos dinoflagelados.

Los contenidos de azufre son en general bajos, pero en la parte media del manto se incrementan los contenidos tanto de cenizas como de azufre. Además esto se relaciona con el índice de calidad y el índice de influencia del agua subterránea.

Las diferencias químicas, petrográficas y palinológicas están influenciadas por las condiciones en el ambiente de



depositación de la turba, y estas herramientas resultan ser útiles como elementos de correlación y diferenciación de los distintos mantos de carbón.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM, 1995. Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards. Sec. 05.05 Gaseous Fuels; Coal and Coke. Philadelphia, PA, 472 p.
- Blandón, A., Parra, N., y Arango, F., 2003. Método de preparación de muestras de carbón y rocas carbonosas para el estudio de la materia orgánica sedimentaria. En: IX Congreso Colombiano de Geología. pp. 227-228.
- Campuzano, J., 1977. Facies en los pisos inferior y medio del Terciario Carbonífero. Titiribí Antioquia, Boletín de Ciencias de la Tierra No.2 Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, pp.123-146.
- Calder, J. H., 1993. The evolution of a ground-water-influenced (*Westphalian B*) peat-forming ecosystem in a piedmont setting: the No.3 seam, Springhill coalfield, Cumberland Basin, Nova Scotia. In: Cobb, J.C., Cecil, C.B. Eds. Modern and Ancient Coal-Forming Environments. Geological Society of America, Special Paper, 286, pp. 153-180.
- Dueñas, H., 1983. Fluctuaciones del nivel del mar durante el depósito de los sedimentos basales de la Formación Ciénaga de Oro. Rev. Acad. Col. De ciencias exactas, físicas y naturales. 15 (58), pp. 67-76.
- Eble, C. F. y Grady, W.C., 1993. Palynologic and petrographic characteristics of two Middle Pennsylvanian coal seams and a probably modern analogue. In: Cobb, J.C., Cecil, C.B. Eds. , Modern and Ancient Coal-Forming Environments. Geological Society of America, Special Paper, 286, pp.119-138.
- Eble, F., Pierce, B. y Grady, W., 2003. palynology, petrography and geochemistry of the Sewickley coal bed (Monongahela Group, Late Pennsylvanian), Northern Appalachian Basin, USA. International Journal of Coal Geology, 55, pp. 187-2004.
- Escobar, L. H., 1990. Palinoestratigrafía de la Formación Amagá. Tesis de Postgrado en Ciencia y Técnica del Carbón. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín.
- Escobar, E. y Rozo, T., 1984. Investigación palinológica de la Formación Amagá. Tesis de Grado, Ing. Geol. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín. 180 p.
- Grosse, E., 1926. El Terciario Carbonífero de Antioquia. Berlín: Dietrich Reimer. E. Vohsen. 321 p.
- González, H. 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). Bol. Geol. INGEOMINAS. Vol. 23 (1), 174 p.
- Guzman, C. y Sierra, G., 1984. Ambientes sedimentarios en la Formación Amagá. Tesis de Grado, Ing. de Geología. Univ. Nal, Fac. de Minas. Medellín 303 p.
- Guzman, C. A., 1991. Condiciones de depositación de la Formación Amagá entre Amagá y Angelópolis. Tesis de Posgrado en Ciencia y Técnica del Carbón, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín. 213 p.
- ISO 7404-2 1985. Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite – Part 2: Method of Preparing Coal Samples. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 8 p.
- ISO 7404-3 1994. Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite – Part 3: Method of Determining Maceral Group Composition. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 6 p.
- Jaramillo, C. y Dilcher, D., 2001. Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. Palaeontographica. Stuttgart., pp. 87-213.
- Lorente, M., 1986. Palynology and palinofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. En : Dissertations Botanicae. 99, p. 222.

- Mastalerz, M., Padgett, P., Eble, F., 2000. Block coal from Indiana: Inferences on changing depositional environmental. *International Journal of Coal Geology*. 43, pp. 211-226.
- Schuler, M. y Doubinger, J., 1970. Observation palinologiques dans le Bassin D'Amaga. (Colombie). *Pollen et Spore*, Vol 12, N°3.
- Sykes, R. y Snowdon, L. R., 2002. Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis. *Organic geochemistry*, 33, 1pp. 441-1455.
- Thomas, L., 2002. *Coal Geology*. John Wiley & Sons Ltd (ed.), England. 384 p.
- Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R. y Robert, P. (Eds.), 1998. *Organic Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704 p.
- Van der Hammen, T., 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano y tectognesis de los Andes Colombianos. *Bol. geol. Bogotá*, Vol. 6. No. 2, pp. 67-128.

