

Análisis de Microlitotipos en los Carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva, Cundinamarca

Coal Microlithotype analysis of the Guaduas Formation in the Sueva Syncline, Cundinamarca, Colombia

LUIS JORGE MEJÍA-UMAÑA¹

CARLOS EDUARDO CONVERS-GÓMEZ²

JUAN FELIPE GONZÁLEZ-CASALLAS³

¹Geólogo. Profesor Asociado. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

E-mail: ljmejiau@unal.edu.co

²Geólogo. Dirección: Carrera 12 20 a – 73. Funza (cundinamarca). Apartado aéreo 14738 Bogotá

E-mail: carlos_convers75@yahoo.com

³Geólogo. Dirección: Carrera 3 c este 46 a 19 Sur, Bogotá D.C.

E-mail: jfelipe19@yahoo.com

MEJÍA-UMAÑA, L.J.; CONVERS-GÓMEZ, C.E. & GONZÁLEZ-CASALLAS, J.F. (2006): Análisis de Microlitotipos en los Carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva, Cundinamarca.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 31, pp. 11-26, 11 Figs., Bogotá.

RESUMEN

En el presente estudio se exponen los resultados de los análisis petrográficos efectuados a 30 muestras de carbón, tomadas a los mantos localizados en 3 niveles de la Formación Guaduas, presentes en el Sinclinal de Sueva (Cundinamarca-Colombia).

El estudio realizado incluye análisis microscópicos de macerales, microlitotipos y reflectancia media de la vitrinita, con el fin de establecer los factores que controlaron los procesos de depósito y formación de estos carbones.

El rango del carbón determinado mediante la reflectancia media de la vitrinita y los análisis fisicoquímicos, varía entre carbones bituminosos altos volátiles C y bituminosos altos volátiles A.

El carbón, se definió como de tipo vítrico, con tendencia fúscica, a partir del análisis de los grupos macerales.

Mediante la determinación de las relaciones entre el análisis maceral, el análisis de microlitotipos y las propiedades físicas y químicas del carbón, se generó un modelo del ambiente de depósito de los carbones correspondiente a una zona de llanura baja interdeltáica con ciénagas y pantanos boscosos, paralelos a una costa de dirección aproximada norte-sur con el mar abierto hacia el occidente.

Palabras Clave: *Carbón, Microlitotipos, Macerales, Petrografía, Petrología.*

ABSTRACT

In the present study is exposed the results of petrographic analysis made to 30 samples from 3 levels of coal seams of Guaduas Formation in the Sueva Syncline (Cundinamarca-Colombia), to determine a probable environment of coals deposits from Guaduas Formation.

The microscopic study of macerals, microlithotypes and vitrinite reflectance average was made in order to establish the factors that control the processes of coal formation.

The vitrinite reflectance and the physicist-chemist analyses were used to determine the coal range, locating it in an interval of High Volatile C Bituminous coal, to High Volatile A Bituminous coal, and the coal type was determined as Vitric coal with Fusic tendency derived from the macerals group analyses.

The relations between the maceral and microlithotypes analyses and the physical and chemical properties of the coal suggest an deposit environment model of the studied coals corresponding with forest swamps in a low interdeltic plains parallels to the coast line in north south direction with an open sea towards the west.

Key words: *Coal, Microlithotypes, Macerals, Petrography, Petrology.*

INTRODUCCION

En la actualidad, los recursos naturales hacen parte fundamental del desarrollo de un país y en particular el carbón por su gran utilidad a nivel industrial y energético.

Desde el punto de vista técnico y científico es importante aprovechar los análisis de laboratorio, petrográficos, químicos y físicos, los cuales permiten determinar el uso más apropiado y el origen de los carbones.

El presente trabajo de investigación, tiene por objetivo realizar un estudio de macerales y microlitotipos de los carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva (Cundinamarca) usando los análisis petrográficos para explicar las condiciones de depósito de dichos carbones.

Con el fin de unificar la metodología del análisis de las áreas carboníferas, basados en métodos petrográficos, se siguió el desarrollo expuesto en el estudio del ambiente sedimentario de los carbones de la Formación Guaduas en el área del Sinclinal de Checua-Lenguazaque, elaborado en 2003 por Clara Guatame como tesis de Maestría en Geología. (ver GUATAME & SARMIENTO 2005).

LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se localiza hacia el nororiente de Bogotá y a ella se puede arribar por la carretera que pasa por los municipios de La Calera, Guasca y Sueva hasta la población principal de la región que es el municipio de Gacheta.

El área del estudio se encuentra dentro del cuadrángulo geológico K-11 (Zipaquirá) elaborado por McLAUGHLIN (1975) y comprende los municipios de Guasca, Junín y el páramo de Chingaza al sur; al occidente el municipio de Guatavita que se comunica con el municipio de Guasca y con la Sabana de Bogotá; y el municipio de Macheta al norte (Fig. 1).

La superficie del área de estudio es de 160 Km², de forma rectangular alargada en dirección noreste. Comprende las planchas topográficas 209-IV-D, 228-II-A, 228-II-B, 228-II-C y 228-IV-A, a escala 1:25.000 y las planchas 209 y 225 a escala 1:100.000 del IGAC.



Fig. 1. Mapa de localización del trabajo. El área representada corresponde al cuadrángulo K-11 (Zipaquirá) y a las planchas 209 y 225 del IGAC.

MÉTODO DE TRABAJO

Durante el proyecto desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia y Minercol para la exploración de los carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva (MEJÍA 1995), se tomaron 38 muestras de carbón por el método de canal, el cual representa las características de cada manto en su totalidad. Estas muestras fueron molidas y guardadas cuidadosamente para estudios posteriores.

En este trabajo, se utilizaron dichas muestras y se prepararon 30 probetas usando el procedimiento sugerido por ECOCARBÓN (1995) para la preparación de secciones pulidas.

A las secciones pulidas se les determinó el contenido de grupos macerales y de microlitotipos con un conteo estadístico sobre 500 puntos escogidos en un espaciamiento regular y uniforme tanto horizontal como vertical. Estos análisis se realizaron trabajando en un microscopio Leitz - Orthoplan, equipado principalmente con un ocular de 10x y

un objetivo de aceite de inmersión de 50x., facilitado por el laboratorio de combustibles del Departamento de Química.

Para el análisis maceral uno de los oculares incluyó una retícula micrométrica, y para realizar el conteo de microlitotipos se utilizó un ocular con grilla micrométrica de 20 puntos como sugiere KÖTTER (1959).

Para realizar las diferentes determinaciones fisicoquímicas y petrográficas se usó la norma ASTM D 2013-86 (1994).

Para la descripción de los macerales y de microlitotipos se siguió la Nomenclatura Internacional de 'Stopes – Herleen' que se fundamenta en la morfología, tamaño, afinidad botánica y ocurrencia de los macerales (STACH 1982).

Para la determinación del rango del carbón, se utilizó la clasificación alemana que se basa en la reflectancia de la Vitrinita y la clasificación Norteamericana ASTM D 388 – 99 donde se tienen en cuenta algunas propiedades de los carbones como la materia volátil, el carbono fijo y el poder calorífico (GUATAME 2003).

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

En las cuencas de Cundinamarca y Boyacá, la formación geológica que tiene mantos de carbón en capas explotables se denomina Formación Guaduas y se extiende por toda la Cordillera Oriental exhibiendo afloramientos en dirección N-NE a lo largo de las principales estructuras geológicas de la cordillera, desde el sur de Bogotá hasta el norte de Tunja (MEJÍA 1995).

Dentro de esta gran región se escogió la estructura más sur-oriental en donde se presenta la Formación Guaduas, denominada Sinclinal de Sueva (Fig. 2).

En el núcleo de esta estructura, en una superficie alargada de aproximadamente 35 km de largo por 5 km de ancho en dirección NNE, afloran rocas del Grupo Guadalupe bajo la Formación Guaduas y las formaciones Cacho y Bogotá que la suprayacen.

La estratigrafía del área de estudio corresponde a la cuenca de la Sabana de Bogotá, con influencia de la cuenca de Sogamoso; en este trabajo se describirá solamente la unidad más importante que

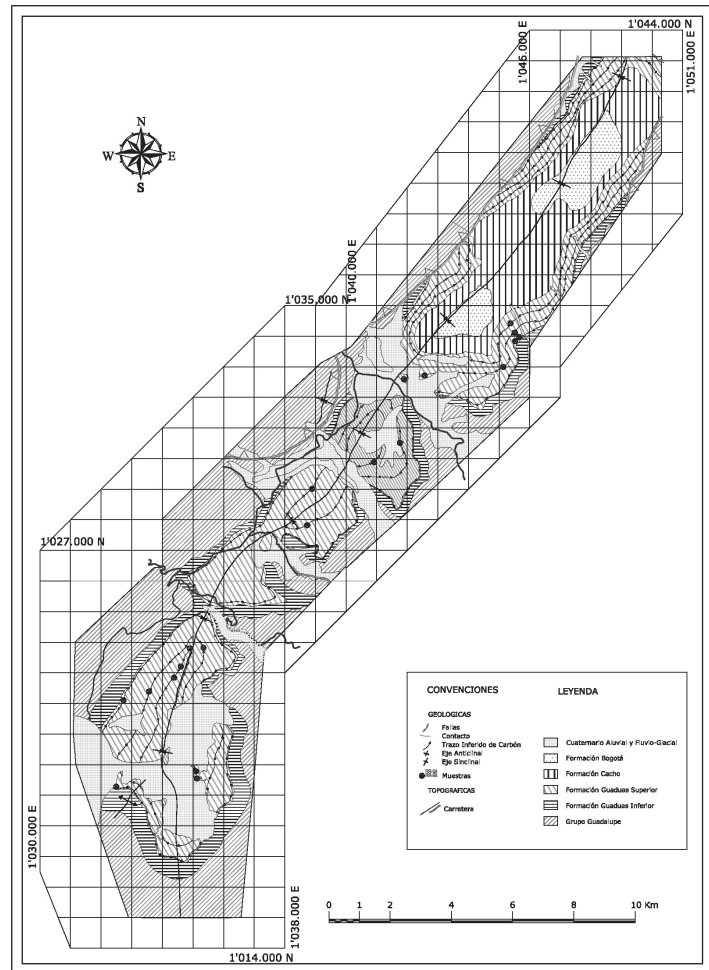


Fig. 2. Mapa Geológico del área de estudio en el Sinclinal de Sueva, con la ubicación de los niveles de carbón. (Modificado de MEJÍA 1995).

corresponde a la Formación Guaduas.

FORMACIÓN GUADUAS

La Formación Guaduas fue utilizada inicialmente por HETTNER (1892; en JULIVERT 1968) para designar las rocas halladas sobre el Grupo Guadalupe. Actualmente el término está restringido a las rocas sedimentarias que suprayacen a la Formación Arenisca Tierna, como lo propuso HUBACH (1957; en JULIVERT 1968) y que infrayacen a la Formación Cacho como en la localidad de Sutatausa (SARMIENTO 1993).

La Formación Guaduas que aflora en la parte central de la Cordillera Oriental Colombiana, representa la fase final de la deposición de la espesa sucesión sedimentaria que se inicia en el Titoniano y abarca hasta el Paleoceno Temprano en la Cuenca Cretácica Colombiana (SARMIENTO 1992a; GUERRERO *et al.* 2000).

La edad de la unidad es Maastrichtiano Tardío a Paleoceno Temprano con base en palinomorfos comunes a lo largo de la sucesión

(SARMIENTO 1992b). Está constituida por una secuencia de 1.100 m de lodolitas, arenitas y mantos de carbón en la localidad tipo. Las capas de carbón dan importancia económica a la unidad, presentando al menos diez mantos explotables, con espesores variables entre 0,60 y 2,20 m.

Las lodolitas, arenitas y carbones, representan una evolución progresiva, aunque cíclica del depósito; hacia la base las lodolitas son grises oscuras y llegan a ser lodolitas varicoloreadas hacia el techo, donde predominan los colores rojizos y violáceos. Las areniscas pasan de arenitas de cuarzo a litoarenitas en la parte superior. Los cambios litológicos son controlados por variaciones relativas del nivel del mar de los cuales se reconocen cuatro episodios (SARMIENTO 1992a, 1994) que tienen continuidad con los diferentes ciclos del Cretácico Colombiano (GUERRERO 1996, GUERRERO *et al.* 2000). Los episodios transgresivos, responsables del establecimiento de las amplias áreas pantanosas que dieron origen a los mantos de carbón, fueron identificados por SARMIENTO (1992a, 1994 en GUATAME 2003).

Se destaca la superficie transgresiva al límite con la Formación Labor y Tierna que constituye una superficie isócrona reconocida a lo largo de la cuenca Cretácica Colombiana y que caracteriza el claro contraste morfológico entre las arenitas de frente de playa y las lodolitas de la base de la Formación Guaduas de mar abierto proximal, con una amplia variedad de foraminíferos y de fitoplancton de origen marino (SARMIENTO 1992a y b, 1994; GUERRERO *et al.* 2000 en GUATAME 2003).

En el área de estudio se determinó para la Formación Guaduas un espesor entre 500 y 600 m y se pudo dividir en dos intervalos de los cuales el superior es el que contiene las capas explotables de carbón como se observa en la figura 3.

Segmento Inferior (TKg 1)

Este intervalo midió entre 90 y 120 m, con un promedio de 100 m de espesor a lo largo de toda el área. Consiste en intercalaciones de arcillolitas grises en capas de 1 a 2 m de espesor, entre las que se intercalan estratos delgados de areniscas cuarzosas grises. Forman secuencias cíclicas pero debido a que las areniscas son resistentes a la erosión, forman escarpes comúnmente ver-

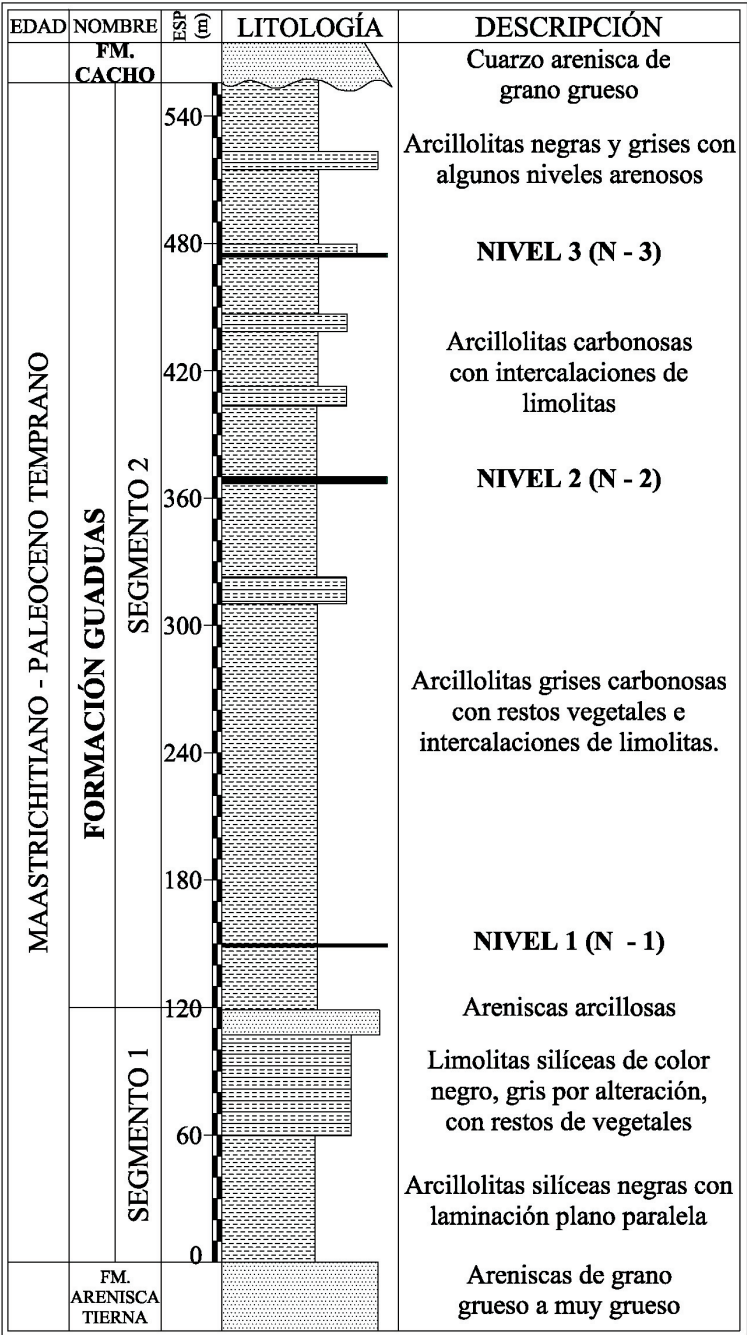


Fig. 3. Columna Estratigráfica generalizada y ubicación de los mantos de carbón de la Formación Guaduas en la zona de estudio (Modificado de MEJÍA 1995).

tales, sin embargo en la base predominan unos veinte metros de arcillolitas, lo cual hace que se observe un marcado contraste morfológico entre este nivel y el tope de las areniscas de la parte superior del Grupo Guadalupe. En este intervalo solo se observó una capa de carbón de 0.10 m de espesor hacia la parte superior de la sucesión.

Segmento Superior (TKg 2)

Para este intervalo se calculó un espesor promedio de 400 m. Está constituido predominantemente por arcillolitas y solo presenta algunas areniscas muy delgadas que se intercalan esporádicamente. En esta secuencia se presentan las capas de carbón de espesores explotables de la formación, las cuales alcanzan hasta 1,50 m de espesor. En todos los bloques fueron reconocidos tres niveles.

DESCRIPCIÓN DE LOS MANTOS DE CARBÓN

La sucesión se inicia con el segmento inferior de la Formación Guaduas, que tiene un espesor promedio de 100 m y no contiene capas de carbón explotables; a unos 20 m del tope de este segmento se presenta, en casi to-

das las áreas, un carbón que varía de espesor entre 0,25 y 0,45 m; es el primer carbón de importancia que aparece y aunque no es explotable es muy constante (Fig. 4).

Posteriormente a unos 20 m subiendo estratigráficamente del punto anterior, se observaron dos capas de carbón situadas a menos de 1 m de distancia una de la otra, con espesores que varían entre 0,70 y 0,87 m en la capa inferior y entre 0,60 y 0,64 m en la capa superior. Las capas de carbón anteriormente descritas, conforman el nivel inferior o Nivel 1 (N-1).

A unos 200 m hacia arriba estratigráficamente se presenta un manto que varía de 1,40 m en el norte, hasta 1 m en el sur. Este manto estaría situado aproximadamente a 300 m de distancia de la base de la Formación Guaduas y se representa por el Nivel 2 (N-2).

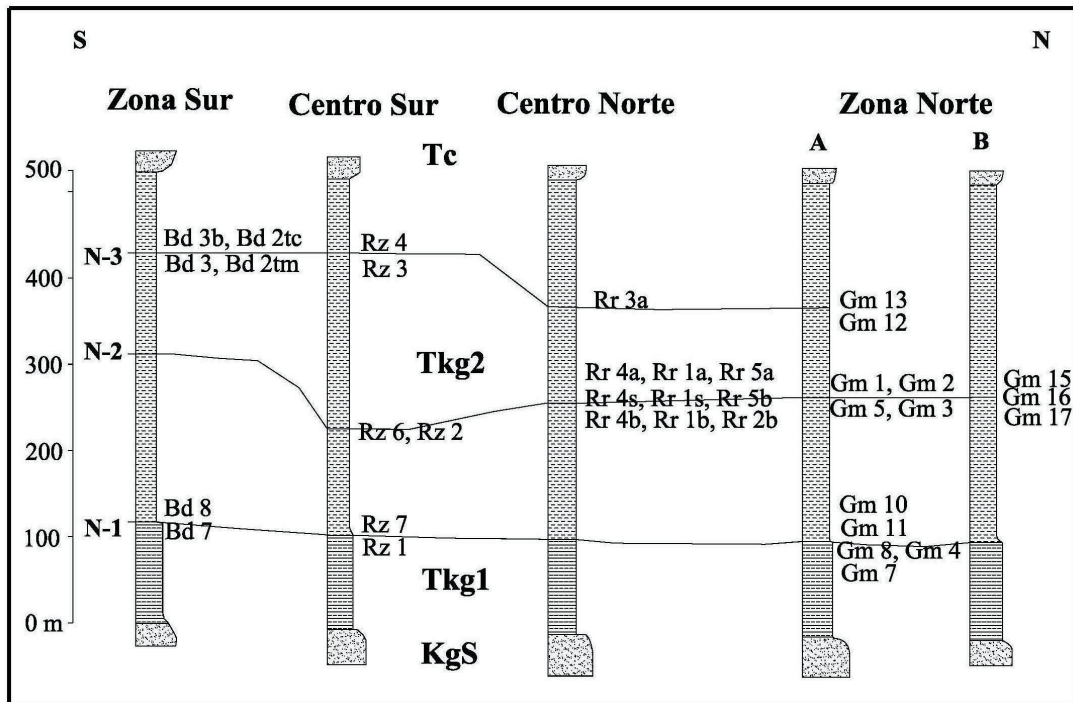


Fig. 4. Esquema generalizado y ubicación de las muestras de los carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva (Modificado de MEJÍA 1995).

Posteriormente, a unos 100 m subiendo estratigráficamente del punto anterior se encuentra una sucesión de tres capas de carbón cuyos espesores varían entre 0,68; 0,52 y 0,60 m hacia el norte hasta 0,90; 0,65 y 0,30 m hacia el sur. Este nivel se encuentra aproximadamente a 400 m de la base de la formación y se denomina Nivel 3 (N-3).

Se puede generalizar que las capas de carbón descritas anteriormente, tienen continuidad en dirección NE-SW y parece existir una ligera disminución de los espesores hacia el sur del sector; hay que aclarar que dicha generalización es tentativa, debido a que para intentar correlaciones de los mantos de carbón hay que tener columnas estratigráficas continuas y completas.

RANGO DEL CARBÓN

El rango del carbón corresponde al estado de carbonificación alcanzado durante el enterramiento y va desde el estado de turba hasta antracita. Depende de la acción bioquímica sobre las plantas originales durante la turbificación y es influenciado por procesos diagenéticos en los que intervienen fundamentalmente el tiempo, la temperatura y la presión (TAYLOR *et al.* 1998).

Por medio de los análisis de poder calorífico y reflectancia media de vitrinita los carbones estudiados se clasificaron en el intervalo entre Bituminoso Alto Volátil C, Bituminoso Alto Volátil B y Bituminoso Alto Volátil A.

Se pudo observar una variación del rango de la vitrinita en sentido lateral, determinándose, una ligera disminución hacia el sur; en cuanto a la variación de los promedios de reflectancia en sentido vertical no fue posible observar una tendencia significativa.

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Se efectuó un conteo de macerales individuales y de grupos macerales y posteriormente se realizó el análisis de microlitotipos.

Los resultados de las características petrográficas sirvieron de base para la interpretación del ambiente de depósito.

ANÁLISIS MACERAL

Los macerales se agrupan de acuerdo a las semejanzas de sus propiedades en tres grupos: Vitrinita, Liptinita (Exinita) e Inertinita; los macerales del grupo de la vitrinita e inertinita se relacionan de acuerdo con el grado de conservación y reflectancia, mientras que el grupo de la exinita se caracteriza por macerales que tienen el mismo origen (STACH *et al.* 1975). El resultado de los análisis se describe en la Tabla 1.

En general, los carbones analizados en toda el área muestran en promedio una tendencia mayoritaria del grupo de la vitrinita (73,25%), seguido del grupo de la inertinita (15,74%) y el grupo de la exinita (11,02%); estos porcentajes permiten clasificar en general los carbones por tipo, como vítricos con tendencia fúscica (Fig. 5).

Grupo de la Vitrinita

Dentro del grupo de la vitrinita se observa un predo-

minio del submaceral desmocolinita que se caracteriza por presentar un color gris claro, sin estructura botánica reconocible, homogénea, densa y con reflectancia media (Lám. 1A y H).

La gelocolinita se observa como una superficie homogénea que incluye fusinita y otros macerales; presenta una reflectancia más baja que la desmocolinita (Lám. 1B).

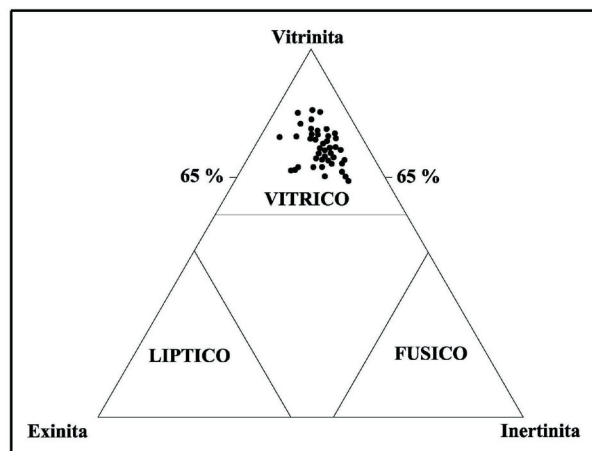


Fig. 5. Diagrama triangular de predominio maceral que muestra la clasificación del carbón por tipo de todas las muestras estudiadas (Modificado de STACH 1975).

La Corpocolinita se presenta en cuerpos redondeados, a veces alargados, y se presenta comúnmente con cutinitas (Lám 1C).

La telocolinita se presenta con esporinita y resinita en algunos de los carbones del área (Lám. 1D).

La vitrodetrinita se presenta a veces fracturada y en forma de detritos; presenta una reflectancia similar a la desmocolinita, y su presencia es muy escasa.

Grupo de la Inertinita

Los macerales reconocidos de este grupo en las muestras estudiadas son: la semifusinita, la fusinita, la macrinita y la esclerotinita.

La fusinita es de color amarillo intenso con un relieve alto y una reflectancia muy alta, los tejidos se aprecian bien conservados y rodeados por macerales del grupo de la vitrinita (Lám. 1 E y F).

Tabla 1. Distribución de Macerales con Materia Mineral (MM) (en Vol. %) de los carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva. Abreviaturas: Corpocolinita (CO), Desmocolinita (DES), Gelocolinita (GEL), Telocolinita (TELC), Telinita (TELN), Vitrinita (VIT), Resinita (RE), Cutinita (CU), Esporinita (ESP), Fusinita (FS), Pirofusinita (PF), Esclerotinita (SC), Macrinita (MA), Semifusinita (SMF), Micrinita (MI), Inertodetrinita (ID).

| MUESTRA | ANÁLISIS MACERAL CON MATERIA MINERAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MM |
|----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|---------------------|-------|------|-------|------|------|------|------------------------|-------|------|------|-------|-------|
| | Grupo de la Vitrinita. | | | | | | | Grupo de la Exinita | | | | | | | Grupo de la Inertinita | | | | | |
| | CO | DES | GEL | TELC | TELN | VIT | Total | RE | CU | ESP | Total | FS | PF | SC | MA | SMF | MI | ID | Total | |
| GM - 1 | 6,86 | 34,71 | 6,47 | 6,67 | 0,00 | 0,59 | 55,29 | 2,35 | 3,92 | 0,39 | 6,67 | 1,96 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 3,14 | 2,55 | 0,00 | 7,84 | 30,20 |
| GM - 2 | 4,45 | 45,65 | 9,86 | 0,58 | 0,00 | 0,00 | 60,54 | 4,06 | 2,90 | 0,19 | 7,16 | 5,61 | 0,00 | 0,39 | 1,74 | 11,22 | 1,55 | 0,00 | 20,50 | 11,80 |
| GM - 4 | 6,71 | 35,70 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 43,20 | 1,78 | 8,88 | 0,00 | 10,65 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 1,58 | 1,38 | 0,00 | 3,94 | 42,21 |
| GM - 5 | 2,20 | 39,40 | 11,60 | 12,00 | 0,00 | 0,20 | 65,40 | 3,00 | 9,60 | 0,40 | 13,00 | 3,40 | 0,00 | 0,60 | 0,60 | 8,20 | 5,80 | 0,00 | 18,60 | 3,00 |
| GM - 7 | 3,42 | 52,72 | 15,29 | 0,40 | 0,00 | 0,20 | 72,03 | 2,21 | 6,24 | 0,20 | 8,65 | 6,64 | 0,40 | 0,40 | 0,80 | 4,02 | 4,23 | 0,00 | 16,50 | 2,82 |
| GM - 8 | 3,14 | 36,27 | 1,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 40,78 | 1,37 | 2,16 | 0,00 | 3,53 | 2,35 | 0,00 | 0,00 | 0,39 | 2,35 | 1,18 | 0,00 | 6,27 | 49,41 |
| GM - 11 | 2,90 | 49,42 | 8,30 | 1,93 | 0,00 | 0,97 | 63,51 | 3,67 | 4,63 | 0,39 | 8,69 | 4,63 | 0,00 | 0,19 | 0,77 | 5,98 | 3,09 | 0,00 | 14,67 | 13,13 |
| GM - 12 | 4,94 | 58,50 | 9,29 | 2,17 | 0,00 | 0,00 | 74,90 | 4,15 | 6,13 | 0,40 | 10,67 | 1,19 | 0,59 | 0,20 | 2,37 | 4,55 | 3,75 | 0,00 | 12,65 | 1,78 |
| GM - 14 | 7,76 | 34,08 | 14,08 | 4,29 | 0,00 | 1,43 | 61,63 | 5,10 | 5,31 | 0,20 | 10,61 | 4,90 | 0,00 | 0,61 | 0,41 | 6,12 | 3,67 | 0,00 | 15,71 | 12,04 |
| GM - 15 | 15,16 | 39,17 | 6,69 | 8,07 | 0,00 | 0,39 | 69,49 | 3,35 | 7,68 | 0,20 | 11,22 | 1,18 | 0,00 | 0,79 | 0,39 | 4,92 | 1,18 | 0,00 | 8,46 | 10,83 |
| GM - 16 | 2,43 | 44,83 | 10,75 | 7,71 | 0,00 | 0,81 | 66,53 | 4,46 | 5,68 | 0,20 | 10,34 | 2,84 | 0,00 | 0,41 | 0,61 | 8,52 | 4,26 | 0,00 | 16,63 | 6,49 |
| GM - 17 | 4,84 | 55,85 | 4,64 | 1,01 | 0,00 | 0,00 | 66,33 | 3,43 | 6,25 | 0,20 | 9,88 | 4,64 | 0,20 | 0,20 | 1,21 | 5,85 | 4,03 | 0,00 | 16,13 | 7,66 |
| RR - 1 A | 6,47 | 44,31 | 4,71 | 0,78 | 0,00 | 0,20 | 56,47 | 2,75 | 5,69 | 0,00 | 8,43 | 2,16 | 0,00 | 0,39 | 0,59 | 5,49 | 1,96 | 0,00 | 10,59 | 24,51 |
| RR - 1 B | 6,73 | 32,67 | 6,73 | 3,56 | 0,00 | 0,00 | 49,70 | 2,38 | 3,56 | 0,20 | 6,14 | 2,57 | 0,59 | 0,40 | 0,20 | 3,76 | 1,98 | 0,00 | 9,50 | 34,65 |
| RR - 2 B | 5,57 | 41,65 | 13,63 | 3,84 | 0,00 | 0,19 | 64,88 | 2,69 | 5,18 | 0,19 | 8,06 | 4,80 | 0,19 | 0,38 | 0,58 | 9,02 | 2,30 | 0,00 | 17,27 | 9,79 |
| RR - 3 A | 2,20 | 46,71 | 5,19 | 3,19 | 0,00 | 1,00 | 58,28 | 5,99 | 5,39 | 0,40 | 11,78 | 2,20 | 0,00 | 0,40 | 1,00 | 10,98 | 3,19 | 0,00 | 17,76 | 12,18 |
| RR - 4 A | 5,04 | 36,29 | 4,23 | 5,65 | 0,00 | 0,00 | 51,21 | 3,43 | 10,89 | 0,20 | 14,52 | 5,24 | 0,00 | 0,20 | 0,20 | 2,62 | 2,42 | 0,00 | 10,69 | 23,59 |
| RR - 4 B | 3,85 | 41,23 | 6,94 | 12,52 | 0,00 | 0,77 | 65,32 | 3,08 | 3,47 | 0,00 | 6,55 | 2,50 | 0,19 | 0,00 | 0,19 | 4,24 | 1,73 | 0,00 | 8,86 | 19,27 |
| RR - 5 A | 6,96 | 41,95 | 9,34 | 9,54 | 0,00 | 0,60 | 68,39 | 3,78 | 3,38 | 0,20 | 7,36 | 4,57 | 1,99 | 0,40 | 0,80 | 4,77 | 3,18 | 0,00 | 15,71 | 8,55 |
| RR - 5 B | 1,39 | 54,58 | 2,19 | 0,60 | 0,00 | 6,37 | 65,14 | 2,79 | 2,99 | 0,00 | 5,78 | 3,39 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 8,37 | 3,39 | 0,00 | 15,74 | 13,35 |
| RR - 6 A | 5,73 | 42,89 | 8,50 | 1,58 | 0,00 | 0,40 | 59,09 | 6,52 | 10,67 | 0,40 | 17,59 | 1,98 | 0,40 | 0,20 | 0,00 | 6,52 | 2,37 | 0,00 | 11,46 | 11,86 |
| RZ - 2 | 3,86 | 40,24 | 3,25 | 0,00 | 0,00 | 0,81 | 48,17 | 2,24 | 4,47 | 0,61 | 7,32 | 2,24 | 0,00 | 0,20 | 0,41 | 8,33 | 2,64 | 0,00 | 13,82 | 30,69 |
| RZ - 4 | 3,17 | 42,86 | 12,10 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 58,53 | 2,18 | 5,95 | 0,40 | 8,53 | 5,56 | 0,00 | 0,40 | 1,59 | 9,72 | 4,76 | 0,00 | 22,02 | 10,91 |
| RZ - 6 | 4,42 | 45,19 | 8,46 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 58,46 | 2,50 | 3,65 | 0,19 | 6,35 | 4,42 | 0,38 | 0,38 | 0,19 | 8,65 | 2,12 | 0,00 | 16,15 | 19,04 |
| RZ - 7 | 1,79 | 57,17 | 9,16 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 68,53 | 4,18 | 5,98 | 0,20 | 10,36 | 2,59 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 10,76 | 3,39 | 0,00 | 18,13 | 2,99 |
| BD - 2TM | 4,65 | 44,65 | 2,02 | 0,61 | 0,00 | 0,81 | 52,73 | 3,23 | 3,84 | 0,20 | 7,27 | 0,40 | 0,00 | 0,20 | 0,20 | 1,62 | 3,03 | 0,00 | 5,45 | 34,55 |
| BD - 2TS | 4,85 | 35,96 | 6,26 | 8,08 | 0,00 | 2,02 | 57,17 | 5,05 | 7,07 | 0,20 | 12,32 | 2,02 | 0,40 | 0,00 | 0,61 | 8,08 | 4,24 | 0,00 | 15,35 | 15,15 |
| BD - 3 | 8,28 | 51,48 | 11,64 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 72,19 | 3,55 | 3,55 | 0,59 | 7,69 | 5,13 | 0,20 | 0,39 | 1,78 | 5,52 | 1,78 | 0,00 | 14,79 | 5,33 |
| BD - 7 | 3,82 | 39,16 | 3,41 | 10,44 | 0,00 | 0,60 | 57,43 | 3,61 | 8,03 | 0,00 | 11,65 | 2,61 | 0,00 | 0,40 | 0,40 | 2,41 | 2,21 | 0,00 | 8,03 | 22,89 |
| BD - 8 | 3,31 | 30,16 | 10,89 | 1,75 | 0,00 | 1,17 | 47,28 | 5,06 | 0,97 | 0,58 | 6,61 | 5,64 | 0,97 | 0,78 | 0,97 | 7,20 | 2,92 | 0,00 | 18,48 | 27,63 |

La semifusinita se observa de color blanco amarillento a gris muy claro, preservando su estructura y ocasionalmente muestra una reflectancia cercana a la vitrinita (Lám. 1 G).

La macrinita presenta un color blanco amarillento y se caracteriza por su forma redondeada y se encontró principalmente asociada con desmocolinita y gelocolinita.

La esclerotinita se presenta de forma ovalada conservando parte de su estructura original y se encontró asociada generalmente al grupo de la vitrinita (Lám. 1 I).

Grupo de la Liptinita (Exinita)

Los macerales de este grupo presentes en los carbones estudiados, son cutinita, resinita y esporinita.

La cutinita se encontró en forma de bandas o capas de tamaño variable y de un color gris oscuro y es generalmente abundante en las muestras estudiadas (Lám. 1 C y I).

La resinita mostró una forma sub-redondeada de color gris oscuro, y generalmente se observó asociada a desmocolinita (Lám. 1 D).

La esporinita se presentó de color gris pardo a negro, con un tamaño variable y en ocasiones era posible observar paredes gruesas y delgadas, su presencia en los carbones estudiados es relativamente baja.

Los macerales fueron organizados por grupos y se presenta su distribución mostrando una clara tendencia de todos los carbones al tipo vítrico (Fig. 5).

Materia Mineral

La materia mineral se presenta predominantemente como arcilla en láminas o fragmentos asociada a la vitrodetrinita. La pirita es muy escasa. El mayor contenido fue de 42% de arcilla, sin embargo hay que anotar que los valores altos posiblemente corresponden a muestras de trincheras.

ANÁLISIS DE MICROLITOTIPOS

Los microlitotipos están definidos por el Comité Internacional de Petrografía del Carbón, ICCP (HANDBOOK 1963) como asociaciones típicas de macerales dentro de las que se distinguen cuatro clasificaciones que son: monomaceral, bimaceral, trimaceral y carbominerita. Cada uno corresponde a las diferentes agrupaciones de macerales que cumplen con las normas internacionales (ICCP

LÁMINA 1

A. Microfotografía que muestra la Desmocolinita (De) de los carbones estudiados.

B. Microfotografía donde se observa Gelocolinita (Ge) rodeada por Cutinita (Cu) y por Desmocolinita (De).

C. Microfotografía que muestra la Corpocolinita (Co) en contacto con bandas de Cutinita (Cu).

D. Microfotografía que muestra Telocolinita (Tlc), Resinita (Re) y Esporinita (Sp).

E. Microfotografía que muestra Fusinita (Fu) acompañada de Macrinita (Ma).

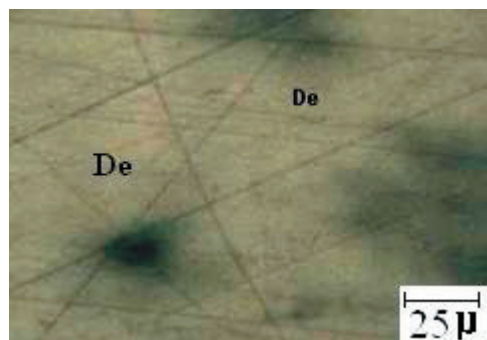
F. Microfotografía que muestra una Pirofusinita (Pf).

G. Microfotografía que muestra Semifusinita (Smf) rellena de Gelocolinita (Ge) y acompañada de Vitrodetrinita (Vit).

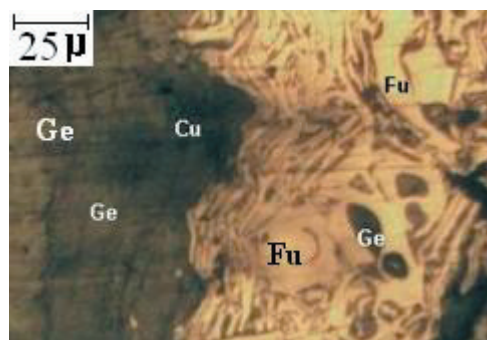
H. Microfotografía que muestra Resinitas (Re) en una Desmocolinita (De).

I. Microfotografía donde se observa una Esclerotinita (Sc) rodeada de Cutinita (Cu) y Corpocolinita (Co).

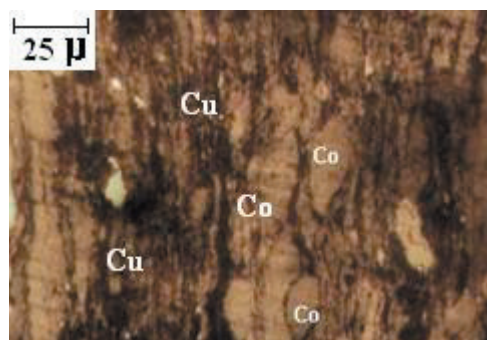
LÁMINA 1



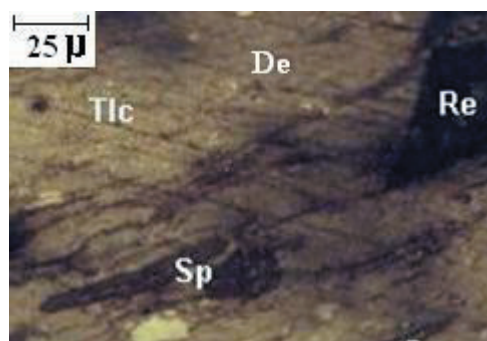
A



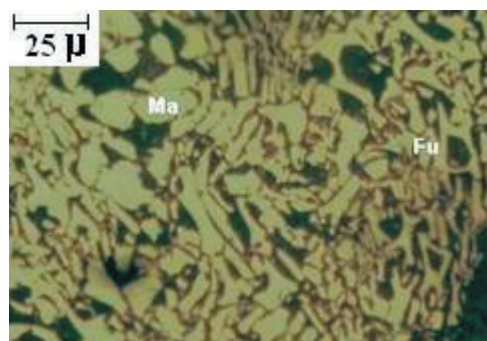
B



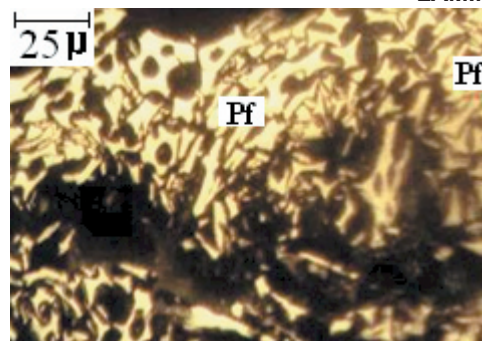
C



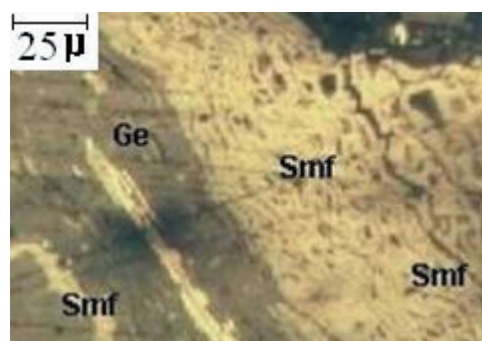
D



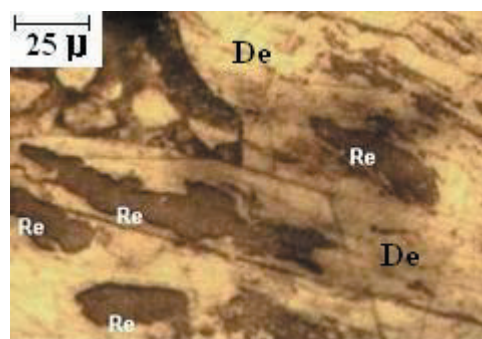
E



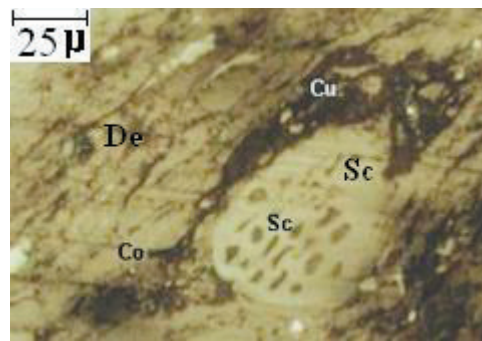
F



G



H



I

Tabla 2. Distribución de Macerales con Materia Mineral (MM) (en Vol. %) de los carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva. Abreviaturas: C Distribución de Microlitotipos sin Carbominerita (en Vol. %) de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva. Abreviaturas: Vitrita (V), Iptita (L), Inertita (I), Clarita (Cl); Durita (Du), Vitrinertita (Vit), Duroclarita (Durc), Vitrinertoliptita (VitIp), Clarodurita (Cldr).

| ANÁLISIS DE MICROLITOTIPOS | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------|--------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|------------|----------|----------|-------|--|
| | MONOMACERAL | | | | BIMACERAL | | | | TRIMACERAL | | | | |
| | V | L | I | Total | Cl | Du | Vit | Total | Durc | VitIp | Cldr | Total | |
| MUESTRA | V>95% | L>95% | I >95% | | V + L > 95% | I + L > 95% | V + I > 95% | | V > I, L | L > I, V | I > V, L | | |
| GM - 1 | 22,95 | 0,00 | 3,98 | 26,93 | 17,80 | 0,00 | 7,73 | 25,53 | 37,47 | 4,68 | 5,39 | 47,54 | |
| GM - 2 | 11,50 | 0,00 | 6,57 | 18,08 | 9,86 | 0,00 | 12,91 | 22,77 | 45,31 | 3,76 | 10,09 | 59,15 | |
| GM - 4 | 31,79 | 0,00 | 0,33 | 32,12 | 32,12 | 0,00 | 2,32 | 34,44 | 26,82 | 6,62 | 0,00 | 33,44 | |
| GM - 5 | 16,53 | 0,00 | 1,05 | 17,57 | 15,90 | 0,00 | 6,07 | 21,97 | 42,89 | 7,95 | 9,62 | 60,46 | |
| GM - 7 | 29,01 | 0,00 | 2,64 | 31,64 | 12,98 | 0,00 | 11,16 | 24,14 | 39,15 | 1,83 | 3,25 | 44,22 | |
| GM - 8 | 32,95 | 0,00 | 1,92 | 34,87 | 17,24 | 0,00 | 8,05 | 25,29 | 32,57 | 4,21 | 3,07 | 39,85 | |
| GM - 11 | 24,10 | 0,00 | 4,44 | 28,54 | 18,82 | 0,00 | 8,25 | 27,06 | 36,79 | 4,65 | 2,96 | 44,40 | |
| GM - 12 | 26,61 | 0,00 | 2,74 | 29,35 | 18,79 | 0,00 | 5,28 | 24,07 | 33,66 | 7,05 | 5,87 | 46,58 | |
| GM - 14 | 14,32 | 0,00 | 3,47 | 17,79 | 14,32 | 0,00 | 11,28 | 25,60 | 44,90 | 6,07 | 5,64 | 56,62 | |
| GM - 15 | 21,46 | 0,00 | 1,14 | 22,60 | 35,84 | 0,00 | 2,74 | 38,58 | 22,15 | 14,16 | 2,51 | 38,81 | |
| GM - 16 | 23,77 | 0,00 | 4,04 | 27,80 | 11,88 | 0,00 | 6,95 | 18,83 | 44,39 | 3,14 | 5,83 | 53,36 | |
| GM - 17 | 29,77 | 0,00 | 2,31 | 32,08 | 17,82 | 0,00 | 9,22 | 27,04 | 32,91 | 2,73 | 5,24 | 40,88 | |
| RR - 1 A | 20,43 | 0,00 | 2,88 | 23,32 | 15,63 | 0,00 | 8,41 | 24,04 | 42,79 | 6,01 | 3,85 | 52,64 | |
| RR - 1 B | 18,59 | 0,00 | 1,97 | 20,56 | 24,79 | 0,00 | 8,17 | 32,96 | 38,03 | 5,07 | 3,38 | 46,48 | |
| RR - 2 B | 21,49 | 0,00 | 3,62 | 25,11 | 11,54 | 0,23 | 12,90 | 24,66 | 41,86 | 3,17 | 5,20 | 50,23 | |
| RR - 3 A | 18,95 | 0,00 | 3,20 | 22,15 | 12,10 | 0,00 | 9,59 | 21,69 | 46,80 | 4,34 | 5,02 | 56,16 | |
| RR - 4 A | 13,30 | 0,00 | 4,43 | 17,73 | 19,46 | 0,00 | 11,82 | 31,28 | 36,45 | 10,34 | 4,19 | 50,99 | |
| RR - 4 B | 34,00 | 0,00 | 3,80 | 37,81 | 23,04 | 0,00 | 6,04 | 29,08 | 24,16 | 4,03 | 4,92 | 33,11 | |
| RR - 5 A | 28,35 | 0,00 | 4,02 | 32,37 | 18,75 | 0,00 | 10,04 | 28,79 | 29,91 | 5,80 | 3,13 | 38,84 | |
| RR - 5 B | 47,12 | 0,00 | 4,09 | 51,20 | 7,93 | 0,24 | 14,42 | 22,60 | 24,04 | 1,68 | 0,48 | 26,20 | |
| RR - 6 A | 12,41 | 0,00 | 2,11 | 14,52 | 33,26 | 0,23 | 4,45 | 37,94 | 28,34 | 14,99 | 4,22 | 47,54 | |
| RZ - 2 | 23,36 | 0,00 | 2,49 | 25,86 | 16,82 | 0,31 | 11,53 | 28,66 | 38,63 | 4,36 | 2,49 | 45,48 | |
| RZ - 4 | 17,46 | 0,00 | 1,91 | 19,38 | 10,53 | 0,00 | 17,22 | 27,75 | 44,26 | 2,15 | 6,46 | 52,87 | |
| RZ - 6 | 16,71 | 0,00 | 2,57 | 19,28 | 15,42 | 0,00 | 13,88 | 29,31 | 41,13 | 4,37 | 5,91 | 51,41 | |
| RZ - 7 | 24,38 | 0,00 | 1,65 | 26,03 | 13,22 | 0,41 | 13,02 | 26,65 | 37,60 | 4,75 | 4,96 | 47,31 | |
| BD - 2TM | 44,44 | 0,00 | 0,28 | 44,72 | 30,56 | 0,00 | 6,11 | 36,67 | 16,11 | 1,94 | 0,56 | 18,61 | |
| BD - 2TS | 25,87 | 0,00 | 1,96 | 27,83 | 11,52 | 0,22 | 14,13 | 25,87 | 35,22 | 5,43 | 5,65 | 46,30 | |
| BD - 3 | 15,28 | 0,00 | 2,84 | 18,12 | 23,58 | 0,00 | 7,42 | 31,00 | 38,21 | 7,42 | 5,24 | 50,87 | |
| BD - 7 | 25,81 | 0,00 | 4,26 | 30,08 | 19,55 | 0,00 | 7,52 | 27,07 | 31,33 | 8,52 | 3,01 | 42,86 | |
| BD - 8 | 23,83 | 0,00 | 3,69 | 27,52 | 11,06 | 0,00 | 8,60 | 19,66 | 37,84 | 8,35 | 6,63 | 52,83 | |

1963, BUSTIN 1983, STACH 1975 y KÖTTER 1959) y su estudio permite aproximaciones al ambiente de depósito de los carbones estudiados.

Los análisis de microlitotipos se llevaron a cabo de una manera similar al análisis maceral (bajo luz reflejada, con aceite de inmersión), pero en este caso se utilizó una retícula de 20 puntos.

Los resultados del análisis de microlitotipos para los carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva se observan en la Tabla 2.

Los carbones estudiados se clasificaron como monomaceral, bimaceral y trimaceral y la clasificación se realizó teniendo en cuenta el grupo de microlitotipo predominante dentro del análisis (Fig. 6).

Grupo Monomaceral

Dentro del grupo monomaceral el microlitotipo predominante es la vitrita. La fusita se encontró en una proporción muy baja, mientras que la liptita no se identificó (Fig. 6).

Grupo Bimaceral

El grupo bimaceral predominante esta representado por la clarita. Los valores de la vitrinertita son generalmente menores y se mantienen relativamente constantes en los tres niveles; por último se observó la durita en una proporción mucho menor que los bimacerales anteriores (Fig. 6).

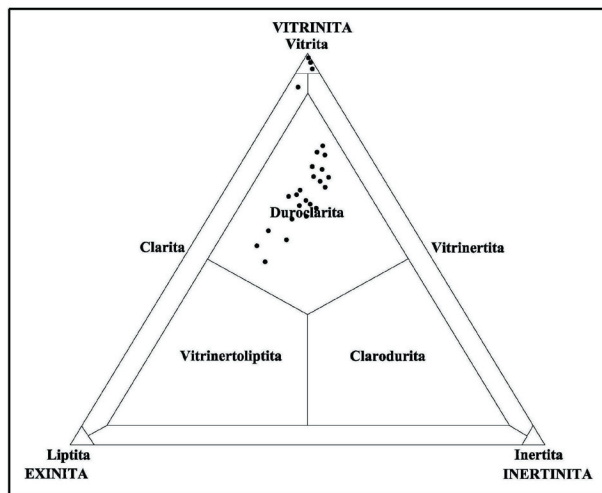


Fig. 6. Diagrama Triangular donde se observa la clasificación del microlitotipo predominante de las muestras estudiadas (Modificado de BUSTIN 1983).

Grupo Trimaceral

Es el grupo más abundante en las muestras estudiadas, el trimaceral predominante en los carbones estudiados es la duroclarita, seguida de la vitrinertoliptita y la clarodurita y como grupo aparece de manera constante en los tres niveles.

DISCUSIÓN SOBRE LAS CONDICIONES DE DEPÓSITO DE LOS CARBONES

Observando los resultados del diagrama triangular (Fig. 7), se puede decir que los carbones de la Formación Guaduas, son ricos en vitrinita, indicando una frecuente saturación de agua en los sitios de depósito, dificultando la oxidación de la turba; al observar la distribución vertical y horizontal de los niveles estudiados se encontró que el submaceral más abundante es la desmocolinita, que se deriva de tejidos parenquimatosos de plantas ricas en celulosa degradados en los inicios de la formación de la turba (STACH, 1975).

Las altas proporciones de desmocolinita se asocian a procesos de gelificación causados por un alto pH, favoreciendo un ambiente sedimentario de agua fresca donde la degradación del material precursor es posible, (JIMÉNEZ *et al.* 1999 en GUATAME 2003).

SINGH & SINGH (2000) interpretaron las condiciones de depósito de inundación y de oxidación mediante un diagrama ternario donde tienen en cuenta la relación entre los grupos macerales y la materia mineral, el cual fue utilizado en el presente trabajo.

De la composición y distribución maceral se observó que los carbones estudiados se formaron bajo condiciones predominantemente anóxicas bajo la superficie de la turbera, con una tabla de agua variable que originó periodos secos y húmedos sin variación apreciable en los dos primeros niveles, mientras que en el tercero las condiciones parecen ser menos húmedas (Fig. 7).

INTERPRETACIONES AMBIENTALES DE LOS MACERALES

Para las muestras estudiadas se graficaron los índices petrográficos y sus resultados los cuales se presentan en la figura 8. Los índices petrográficos pueden ser usados en conjunto con otra información sedimentológica para la interpretación de ambientes de acumulación de la turba.

El GI (Índice de Gelificación) y el TPI (Índice de Preservación de Tejidos) fueron planteados por DIESSEL

(1986), de acuerdo con la composición maceral, para determinar las facies y los ambientes de depósito, examinando los efectos del tipo de vegetación, nivel de tabla de agua, descomposición y tasa de acumulación sobre las facies del carbón. Los altos valores de GI son característicos de incursiones marinas al igual que altos niveles de tabla de agua, ocasionados por un constante influjo de aguas ricas en calcio hacia los pantanos de carbón, acelerando la descomposición de la materia orgánica; los bajos valores de TPI muestran un incremento en el contenido de desmocolinita, indicando un extenso transporte de las partículas dentro de los ambientes de acumulación, (DIESEL 1992 en VESSEY & BUSTIN 2000; SINGH & SINGH 2000; BULLIT *et al.* 2002 en GUATAME 2003).

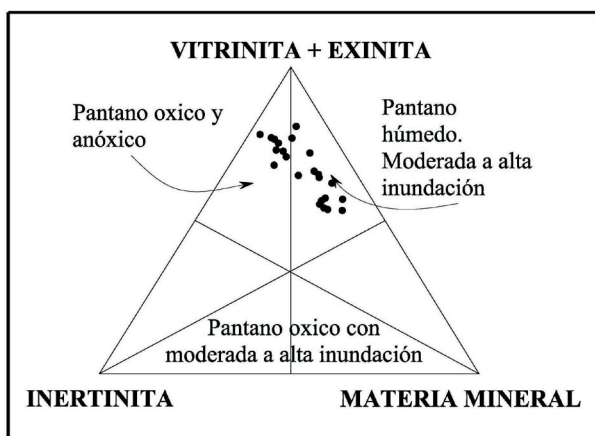


Fig. 7. Diagrama triangular que muestra las condiciones deposicionales de los carbones estudiados (Modificado de SINGH & SINGH 2000).

Con base en estos planteamientos se presenta la interpretación de la figura 8 en la cual se observan la mayoría de los carbones formados en un ambiente trasgresivo y cenagoso.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se presenta en la figura 9 el diagrama ternario donde se muestran los tipos de facies deposicionales del carbón y las condiciones de profundidad del agua los cuales están basados en la presencia exclusiva de macerales del grupo de la exinita.

De acuerdo con los diagramas triangulares se observó que en los tres niveles las muestras estudiadas presentan una similitud en cuanto al tipo de ambiente de deposición y en su gran mayoría se ubican en el campo de

pantano dominado por juncos con frecuente aumento del nivel de la tabla de agua, evidenciado por la preservación de macerales como cutinitas y esporinitas. También se tiene en cuenta que la ausencia de alginita mostraría

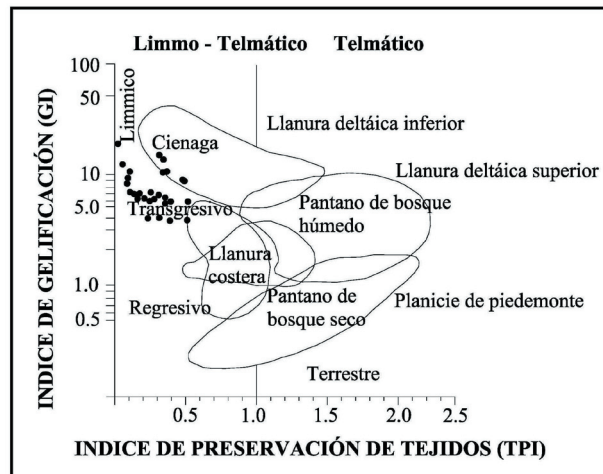


Fig. 8. Diagrama que muestra la facies de los carbones estudiados a partir de los índices petrográficos TPI y GI (DIESEL 1986; modificado por ALVES 1996).

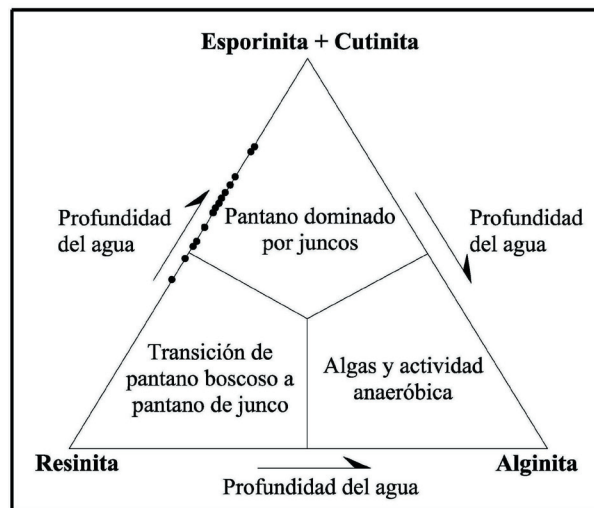


Fig. 9. Diagrama Triangular donde se muestra la facies de los carbones estudiados y las condiciones de profundidad del agua, basados en la ocurrencia cuantitativa de los macerales del grupo de la Liptinita (Modificado de SINGH & SINGH 2000).

muy pocas incursiones de aguas salobres sobre la turbera, siendo posiblemente esporádicas.

La transición de pantano boscoso a pantano de juncos es marcada por la preservación de algunas resinitas, indicando la posibilidad de presentarse estos ambientes con esporádicas fluctuaciones de la tabla de agua.

INTERPRETACIONES AMBIENTALES DE LOS MICROLITOTIPOS

Los microlitotipos pueden ser considerados como unidades genéticas, si ocurren ampliamente y si se observa la distribución cuantitativa, naturaleza, tipo y variedad de los macerales (STACH 1975).

La composición petrográfica del carbón es un producto del ambiente de depósito modificado por el efecto de la carbonificación post-deposicional; los estudios petrográficos detallados del carbón deben proveer información en cuanto a las facies del carbón en el tiempo de deposición (BUSTIN 1983).

Vitrita

La Vitrita se forma usualmente de troncos, ramas o raíces o cualquier producto leñoso (árboles lignificados); una condición necesaria para la preservación de troncos y ramas como Vitrita es la protección de la atmósfera, lo que se garantiza por un alto nivel de la tabla de agua. Este microlitotipo es consecuentemente abundante en facies de pantano boscoso (STACH 1975).

Inertita

La inertita se puede presentar en lentes y bandas gruesas como producto de incendios en el pantano o como producto de la carbonificación por medio de hongos y como tal representaría secamiento de la superficie de la turba.

Clarita

Las claritas generalmente sugieren una formación de la turba bajo condiciones húmedas, siendo común en cuencas de rápida subsidencia, encontrándose en depósitos delgados donde comúnmente está asociada a carbagilita vitrinitica y pirita singenética.

La clarita y la vitrita están frecuentemente asociadas, particularmente la clarita pobre en exinitas, que representa una turba rica en aportes de detritos boscosos (corteza y madera); esta turba se genera en un ambiente de

pantano boscoso. La clarita rica en exinita se origina de vegetación no arborescente y juncos que se descompone fácilmente (BUSTIN 1983).

Vitrinertita

Es un microlitotipo característico de carbones bituminosos de alto rango y antracitas en las que la exinita no puede ser diferenciada, la existencia de este microlitotipo en carbones de bajo rango se atribuye a una frecuente desecación de la turbera en un ambiente de pantano boscoso (STACH 1975).

Trimaceritas

Las trimaceritas ricas en vitrinita (Duroclarita), se consideran generalmente depositadas en un ambiente de pantano boscoso; las trimaceritas ricas en exinita (Vitrinertoliptita), se consideran formadas en depósitos subacuáticos; las trimaceritas ricas en inertinita (Clarodurita), pueden formarse bajo condiciones deposicionales relativamente secas en áreas de baja tabla de agua.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente para el análisis deposicional basado en los microlitotipos, y debido al predominio de duroclarita, clarita y vitrita, se sugiere que el ambiente de deposición predominante para los carbones de los tres niveles estudiados es de Pantano boscoso, en una zona de llanura baja posiblemente interdeltáica cercana a una costa con ciénagas, "lagoons" y pantanos donde se desarrolla variada vegetación (árboles y juncos), con intermitente entrada de agua salobre (Mareas bajas). (Fig. 10).

Según los resultados obtenidos tanto en macerales como en microlitotipos, se observó que el aporte orgánico no mostró intercalaciones con un aporte clástico, lo que significa que los carbones se depositaron en condiciones de llanura plana, extensa, donde era poca o nula la llegada de sedimentos terrígenos (Clásticos).

En la figura 11, se observa que una llanura interdeltáica se divide en superior e inferior y que da origen a diversos sub-ambientes, donde los carbones estudiados se ubicarían en la zona de llanura deltáica inferior entre los sub-ambientes de Pantano boscoso a Pantano de juncos.

La variedad en la vegetación se sugiere por la alta presencia de trimaceritas, que exigen para su formación una diversidad en el aporte de materia orgánica que solo se encuentra en ambientes con mayor aporte de agua dulce sobre la salobre. Contrario a los ambientes con mayor

incremento de monomacerales (en especial Vitrita) donde la turba crece *in situ* con pocos aportes de otras vegetaciones cercanas.

La similitud de las características de los carbones en los tres niveles sugiere el planteamiento de varios periodos de oscilación del nivel del mar, que muestran ciclos de depositación de turba (pantanos boscosos y de juncos) con depósitos de aguas poco profundas (lodolitas y limolitas de laguna costera).

De acuerdo a STACH (1975) las condiciones deposicionales de los carbones deben ser tranquilas en una cuenca con subsidencia constante y un régimen tectónico estable.

CONCLUSIONES

Los carbones estudiados se formaron en condiciones predominantemente anóxicas bajo los sedimentos de la turbera, con una tabla de agua variable que originó periodos secos y húmedos, ya que presentan un alto predominio de los macerales del grupo de la vitrinita como del sub-maceral desmocolinita, además de la conservación de otros macerales en especial la cutinita, la resinita y la semifusinita.

Con base en los índices petrográficos TPI y GI se dedujo que los carbones estudiados se presentan en una facies límnic (sub-acuosa) en cercanías a una ciénaga o pantano con variedad de vegetación, con incursiones marinas esporádicas.

De acuerdo con el análisis maceral se observó que en los tres niveles las muestras estudiadas presentan una similitud en cuanto al tipo de ambiente de depositación, y en su gran mayoría pertenecen a un ambiente de pantano de juncos y vegetación arborecente.

De la composición y la distribución de los microlitotipos estudiados en los carbones, se observó un predominio de duroclarita, clarita y vitrita que sugiere un ambiente de depositación de pantano boscoso con va-

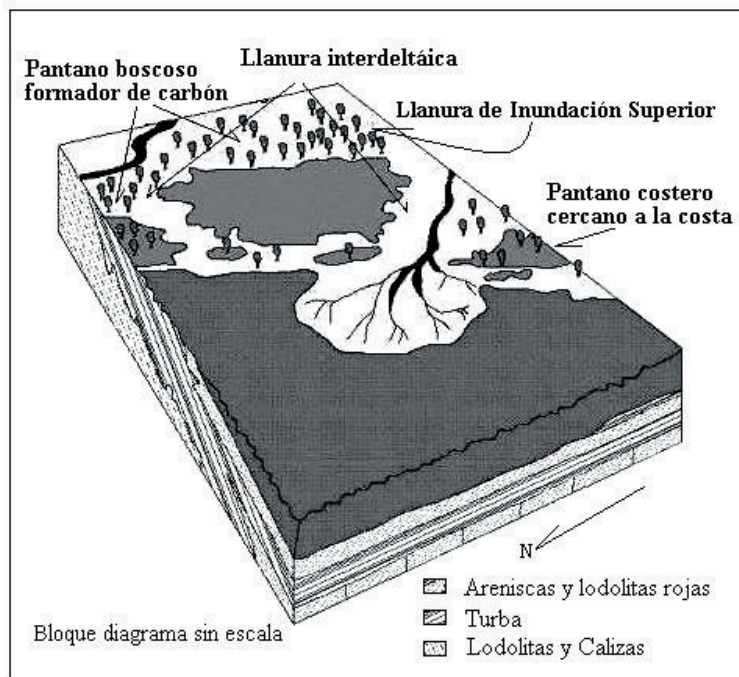


Fig. 10. Bloque diagrama donde se observa el probable ambiente de formación de los carbones estudiados (Modificado de READING 2002).

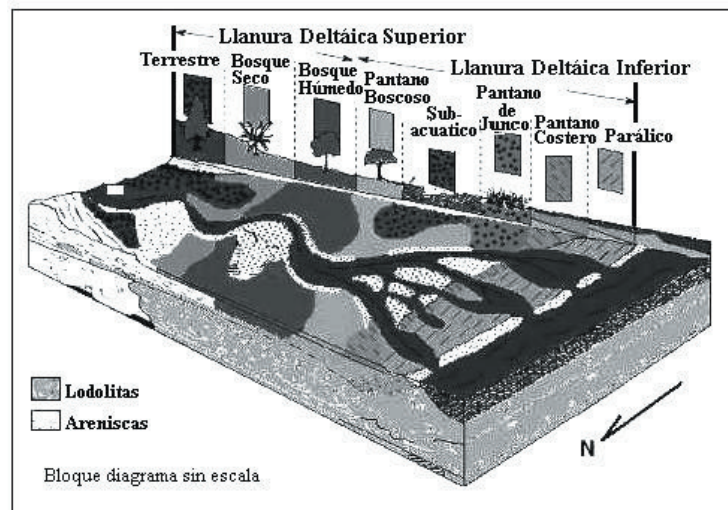


Fig. 11. Bloque diagrama donde se observa el probable ambiente de depositación de las muestras estudiadas y la distribución de los diferentes tipos de pantanos formadores de carbón (Modificado de BULLITT 2002).

riada vegetación (juncos, arbustos, etc.), en una zona de llanura baja posiblemente interdeltáica cercana a una costa con ciénagas y pantanos, con intermitente entrada de agua salobre debido a que se presentaban probables mareas bajas.

Por lo analizado en los estudios petrográficos se puede concluir que los carbones de la Formación Guaduas en el área de estudio se depositaron durante varios periodos de oscilación del nivel del mar, con ciclos de deposición de turba y depósitos de aguas poco profundas en una cuenca con subsidencia constante en un régimen tectónico estable.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVES, R. G. & ADEB, M. V. B., (1996): Sequence Stratigraphy and Coal Petrography applied to the Candiota Coal Field, Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 30 (3), p.231-248, Elsevier, New York.
- ASTM STANDARDS., (2000): ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS. Gaseous Fuels: Coal and Coke.
- BUILLIT, N. E., LALLIER, B., PREDIER, B. & NICOLAS, G., (2002): Coal petrographic genetic units in deltaic-plain deposits of the Campanian Mesa Verde Group (New Mexico, USA). *International Journal of Coal Geology*, Vol. 51(2), p. 93-110, Elsevier, New York.
- BUSTIN, R., M., (1983): Coal Petrology, Its Principles, Methods and Applications, Geological As. Of Canada.
- DIESSEL, C.F.K., (1986): On the correlation between coal facies and depositional environments: advances in the study of the Sydney Basin, Proc. of the Twentieth Symposium, University of Newcastle, p 19-22. Elsevier, New York.
- DIESSEL, C.F.K., (1992): Coal-bearing Depositional Systems, Berlin, p 721, Springer-Verlag.
- ECOCARBÓN, (1995): Normas generales sobre muestreo y análisis de carbones, gerencia de planificación del carbón, División de análisis de reservas, p 26, Bogotá.
- FALCON, R. M. & SNYMAN, C. P., (1986): An Introduction to Coal Petrology: Atlas of Petrographic Constituents in the Bituminous Coals of Southern Africa. p 26, Nova Scotia. J. Geol. Soc. (London).
- GUATAME, C. L., (2003): Interpretación del Ambiente Sedimentario del Carbón de la Formación Guaduas a partir de Análisis Petrográfico, Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- GUATAME, C. L. & SARMIENTO, G., (2005): Interpretación del Ambiente sedimentario de los Carbones de la Formación Guaduas en el sinclinal de Checua-Lenguazaque a partir del análisis Petrográfico. *Geología Colombiana*, nº 29, dic. 2004. p.41-57, Bogotá.
- GUERRERO, J. & SARMIENTO, G., (1996): Estratigrafía Física, Palinológica, Sedimentológica y Secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en la exploración Petrolera, *Geología Colombiana* 20, p 3-66, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- GUERRERO, J., SARMIENTO, G. & NAVARRETE, R. E., (2000): The Stratigraphy of the West Side of Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Basin, Reevaluation of the selected areas and Types Localities including Aipe, Guaduas, Ortega & Piedras, *Geología Colombiana* 25, p 45 – 110, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- HETTNER, A., (1892): Die Kordillere von Bogotá, Pettermanns Mitteilungen. *Ergänzungsheft* 104. p 229 Justus Pertha, Gotha.
- HUBACH, E., (1957): Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. *Bol. Geol.* 5 (2), p 93-112, Servicio Geológico Nacional, Bogotá.
- ICCP., International Committee for Coal Petrology, (1963): International handbook of coal petrography, 2nd edition, Centre National de la Recherche Scientifique, París, France.
- JIMÉNEZ, A., MARTINEZ-TARAZONA, R. & SUÁREZ-RUIZ, I., (1999): Paleoenvironmental Conditions of Puertollano Coals (Spain): Petrological and Geochemical Study. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 41 (3), p 189-211, Elsevier, New York.
- JULIVERT, M., (1968): Léxico Estratigráfico Internacional, América Latina, Colombia, Bol. 5, Fasc. 4a, CNRS, París.
- KÖTTER, K., (1959): Vereinfachung der Kohlenpetrographischen Analyse nach Mikrolithotypen durch Anwendung eines 20 – Punkt- Okulars, *Brennst. – Chemie* 41, p 305 – 309. Berlin.
- McLAUGHLIN, D.H. & ARCE. M., (1975): Mapa Geológico del Cuadrángulo Zipaquirá (K 11), Escala 1:100.000, INGEOMINAS, Bogotá.
- MEJÍA, L. J., (1995): Estudio geológico y cálculo de los recursos de carbón del área entre Sueva y Macheta. Informe final. Ecocarbón, Universidad Nacional. Bogotá.

- READING, H. G., (2002): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, 3rd, p 688, Blackwell Science, Oxford.
- SARMIENTO, G., (1992a): Estratigrafía y medios de depósito de la Formación Guaduas. Bol. Geol. 32(1), p 5 – 45, INGEOMINAS, Bogotá.
- SARMIENTO, G., (1992b): Palinología de la Formación Guaduas, (Estratigráfica y Sistemática), Bol. Geol. 32 (2), p 45-126, INGEOMINAS, Bogotá.
- SARMIENTO, G., (1993): Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas (Maastrichtiano-Paleoceno), Colombia, Tesis de Doctorado, Universidad de Ámsterdam.
- SARMIENTO, G., (1994): Visión Regional de la Formación Guaduas en: Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas (Maastrichtiano-Paleoceno; Colombia), Cap.4, Bol. Geol., Publicación Especial 20, p 165 – 180, INGEOMINAS, Bogotá.
- SINGH, M. P. & SINGH A. K., (2000): Petrographic characteristics and Depositional conditions of Eocene coals of platform basins, Meghalaya, India. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 42 (4), p 315-356. Elsevier, New York.
- STACH, E., MACKOWSKY, M., TEICHMÜLLER, M. TEICHMÜLLER, R., TAYLOR, G. H. & CHANDRA, D., (1975): *Coal Petrology*, Textbook, p 428, Gebrüder-Berlin.
- STACH, E., MACKOWSKY, M., TEICHMÜLLER, M. TEICHMÜLLER, R., TAYLOR, G. H. & CHANDRA, D., (1982): *Coal Petrology*, p 518, Gebrüder-Berlin.
- TAYLOR, G., TEICHMÜLLER, M., DAVIS, A., DIESSEL, C., LITCKE, R. & ROBERT, P., (1998): *Organic petrology*, p 704, Berlin- Stuttgart.
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R., (1982): The geological basis of Coal formation; in Stach, E., Mackowsky, Teichmüller M., Taylor, G.H., Chandra, D., and Teichmüller, R., Editors *Coal Petrology*, 3rd edition, Gebrüder Borntraeger, p 5-86, Berlin-Stuttgart.
- VESSEY, A. K. & BUSTIN, R. M., (2000): Sedimentology of coal-bearing Mist Mountain Formation, Line Creek, Southern Canadian Cordillera: relationship to coal quality. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 42 (2-3), p 129-158, Elsevier, New York.

Manuscrito recibido Junio 2006; aceptado Septiembre 2006.