

# DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y PETROGRÁFICAS DE LOS CARBONES DEL ÁREA DEL CATATUMBO, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA

## DETERMINATION OF PHYSICOCHEMICAL AND PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF CARBONS IN THE CATATUMBO AREA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA

*L.J. Mejía<sup>1</sup>; J.L. Bojacá<sup>2</sup>; J. de J. Díaz<sup>3</sup>; A. Cadena<sup>3</sup>*

*1. Departamento de Geociencias, UNAL. ljmejiau@unal.edu.co*

*2. Geólogo, independiente. jlbojacab@unal.edu.co*

*3. Departamento de Química, UNAL, LICE, jddiazv@unal.edu.co, aocadenas@unal.edu.co*

---

Mejía L. J., Bojacá J. L., Díaz J. de J., Cadena A., (2015): *Determinación de las Características Fisicoquímicas y Petrográficas de los Carbones del Área del Catatumbo, Norte de Santander, Colombia.*- GEOLOGIA COLOMBIANA, Vol. 40. Bogotá, Colombia. pp. 17-30

Manuscrito recibido: 26 de Octubre de 2014; aceptado: 6 de Febrero de 2015

---

### Resumen

En el presente estudio se realiza una caracterización petrográfica de los carbones de la región del Catatumbo, una de las áreas más promisorias para el desarrollo carbonífero, situada en la cordillera Oriental de Colombia en límites con Venezuela, en el departamento de Norte de Santander.

Se efectuaron análisis petrográficos de macerales, microlitotipos y fluorescencia de leptinitas en seis muestras representativas, con los cuales se pretende dar una idea del origen de los carbones; estos análisis se complementaron con análisis próximos y de reflectancia, con el fin de determinar el origen y evolución de los carbones y las características para su utilización.

Se pudo confirmar que estos carbones de edad Paleoceno-Eoceno pertenecientes a la formación los Cuervos, se formaron en un ambiente de lagunas costeras con gran influencia marina, basados en el análisis de los aspectos paleo ambientales, paleo-ecológicos y sedimentológicos que presentaba la turbera. Su clasificación promedio según las normas de la ASTM corresponde a carbones bituminosos altos volátiles C, aptos para usos térmicos.

**Palabras claves:** Petrografía del carbón, carbones colombianos, clasificación del carbón, origen del carbón.

### Abstract

In the present study a petrographic characterization of the carbons of the Catatumbo region is made, one of the most promising areas for the development of coal, located in the Eastern Cordillera of Colombia in limits with Venezuela, in the department of Norte de Santander.

Petrographic analyzes of macerals, microlithotypes and fluorescence of leptinites were carried out in six representative samples, with which it is intended to give an idea of the origin of the coals; these analyzes were complemented with close and reflectance analyzes, in order to determine the origin and evolution of the coals and the characteristics for their use.

It was confirmed that these Paleocene-Eocene coal belonging to the Cuervos Formation were formed in an environment of coastal lagoons with great marine influence, based on the analysis of the paleo-environmental, paleo-ecological and sedimentological aspects of the peat bog. . Its average classification according to the ASTM standards corresponds to high volatile bituminous carbons C, suitable for thermal uses.

**Keywords:** Coal petrography, Colombian carbons, coal classification, origin of coal.

## INTRODUCCIÓN

Se analizaron 6 muestras de carbón de la zona del Catatumbo, tomadas en la zona de Caño Negro, en el municipio de Tibú, en Norte de Santander, correspondiente a un área de estudio de aproximadamente 2.000 Ha.

**Tabla 1:** Localización de las muestras estudiadas

Muestra	localización	
	Este (m)	Norte (m)
GPS 45 San Timbas (Cristo)	1°127.178 E	1°490.977 N
GPS 45 S. Timbas	1°127.178 E	1°490.105 N
CS – 3 Caño Salado	1°125.744 E	1°480.646 N
GPS 66 Río Eusebio	1°120.827 E	1°490.105 N
GPS 13 Playa Cotiza –Tibú	1°127.626 E	1°455.634 N
6- CS – 01 Caño Salado	1°125.853 E	1°481.031 N

## MARCO GEOLÓGICO

A nivel estratigráfico, los carbones pertenecen a la Formación Los Cuervos, la cual fue definida por Notestein 1944, (en Cruz *et al.*, 1973) y se compone de arcillolitas grises; intercaladas con limolitas, arenisca de grano fino y capas de carbón. La sección tipo está localizada en la Quebrada Los Cuervos Norte de Santander, en rocas de edad Paleoceno Tardío a Eoceno Inferior, según datos palinológicos de Van der Hammen (1958).

Su tope es discordante con la Formación Mirador y la base concordante con la Formación Barco, denotando la discordancia de la última etapa de la fase pre andina, en la fase inicial de levantamiento de la Cordillera Oriental, cuando comienza a exhumarse la Cuenca de Norte de Santander, (Van der Hammen, 1958).

Esta Formación los Cuervos puede ser coetánea con parte de las Formaciones: Bogotá; Socha Superior; Lizama (parte superior); Cerrejón (parte inferior) y corresponde a la aloformación Socha Superior que es

transgresiva (según Lundberg, *et al.*, 1998), con un ambiente de sedimentación de transicional a deltaico, denotando el desarrollo de ambientes parálicos.

A nivel de la geología estructural, hay un dominio general dado por la falla de San Lucas (Ingeominas & Minercol, 2004), en una cuenca de “foreland” inicial, con fallas que tienen tanto componente inverso como de rumbo, con pocos plegamientos menores. Las rocas Terciarias, donde están contenidos estos carbones, se ubican en la zona de flexión del Catatumbo, donde existen fallas inversas, casi verticales, con un componente de rumbo (Rincón *et al.*, 2007); siendo la tectónica algo compleja, lo que afecta los yacimientos de carbón en su cuantificación.

Los carbones de esta zona, están representados por 8 a 10 mantos de carbón Ingeominas & Minercol, (2004), ubicados en la parte inferior de la Formación, los cuales en esta área se catalogan como carbones bituminosos Altos Volátiles C (de acuerdo a Rincón *et al.*, 2007), con un potencial estimado de 6.735.575 de toneladas dentro del área estudiada.

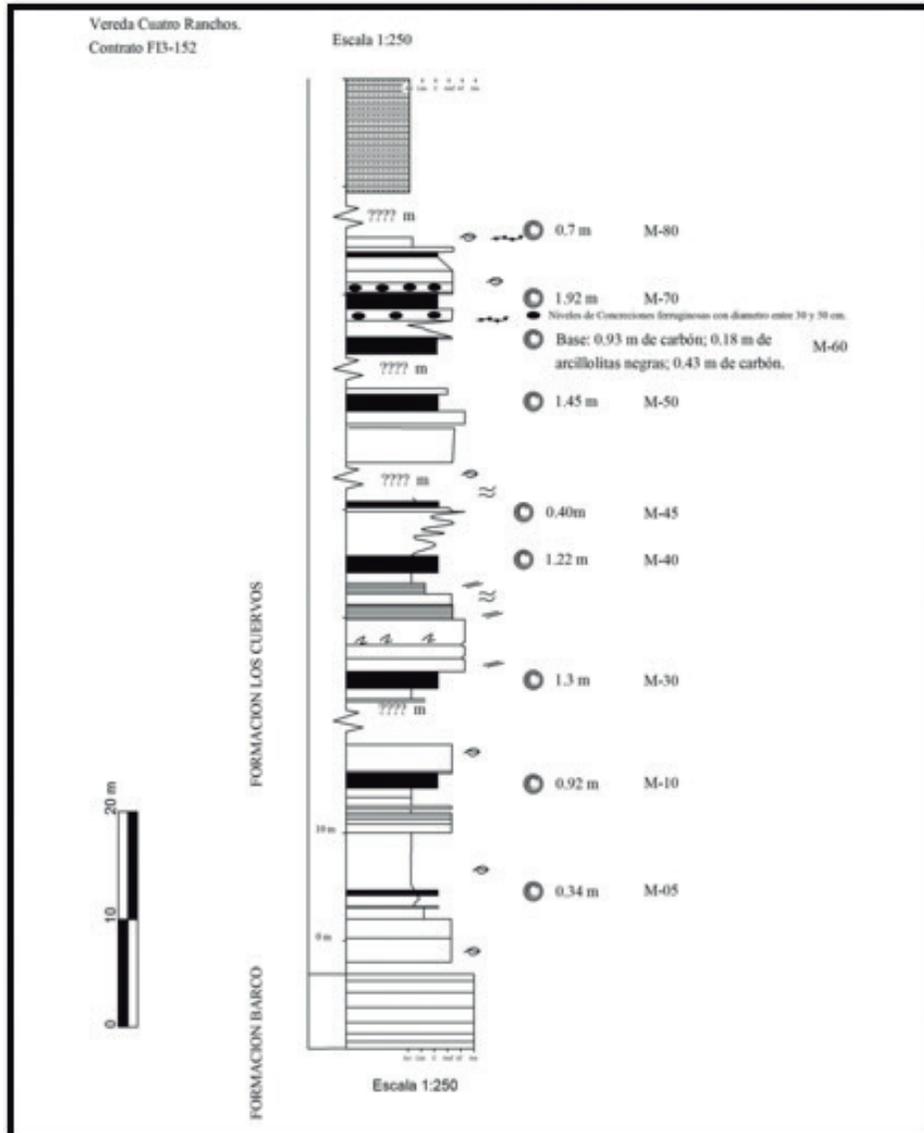


Figura 1: Columna Estratigráfica, parte basal Formación Cuervos (Modificado de Rincón et al, 2007).

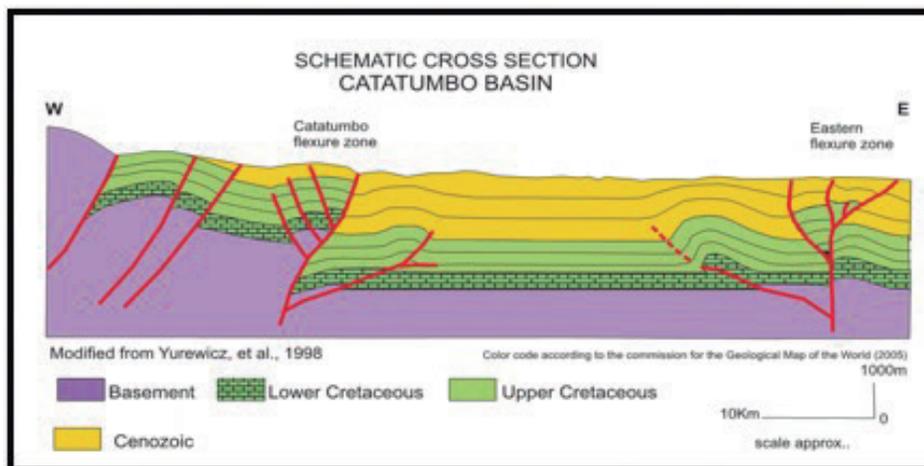


Figura 2. Perfil Regional de la Zona (Modificado de ANH, 2007).

**Tabla 2:** Valores de un análisis químico (Tomado de Rincón A.F *et al.*, 2007)

Carbono Fijo (%)	Humedad Residual (%)	Materia Volátil (%)	Cenizas (%)	Poder Calorífico (Cal/gr)
49,045	8,58	37,985	4,66	6.662,5

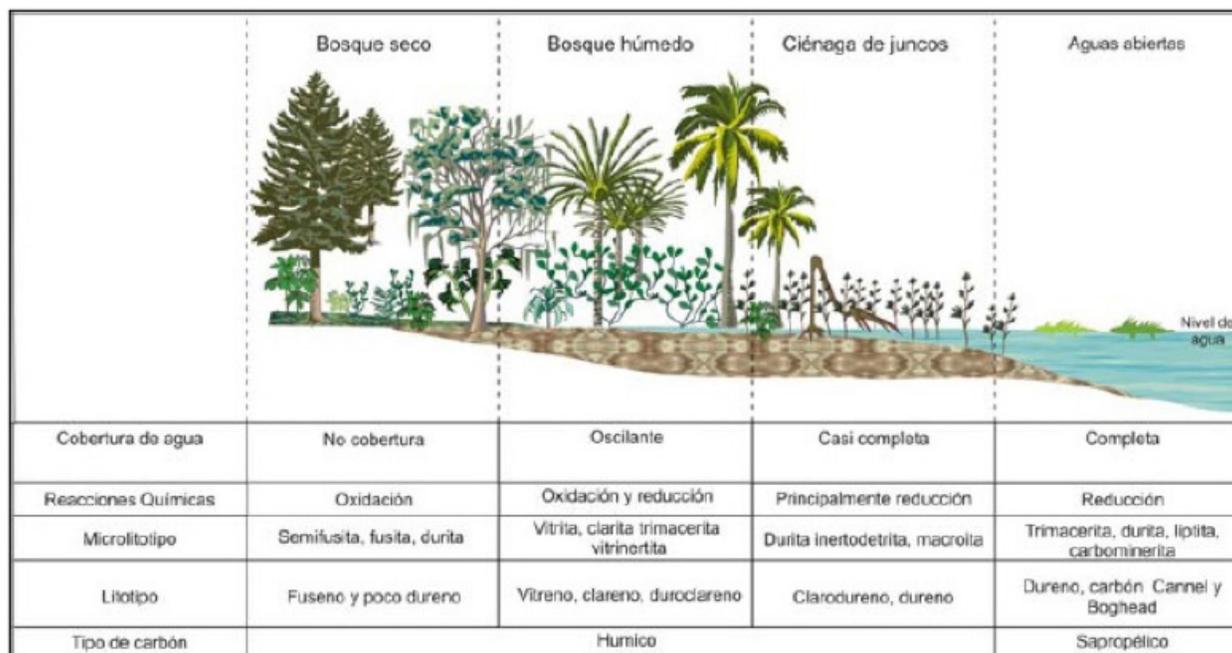
**ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LA FORMACIÓN DEL CARBÓN**

De acuerdo a Bursten 1985 y Vessey *et al.* 2002, (En Singh., 2002), la turbera se comporta como un ambiente de muy baja energía, con unos ciclos básicos de acuerdo a las mareas, dando lugar a acidificaciones y alcalinizaciones, lo cual permite el depósito de la materia orgánica, de distinta proveniencia y de distintos orígenes y la descomposición inicial de la celulosa en lípidos, los cuales se convierten en compuestos aromáticos (Diessel y Gamminde,1998; y Kalkreuth. *et al.* ,2004), dependiendo de la planta de origen y de los distintos procesos geológicos que actúan en el ambiente.

Estas turberas de acuerdo a las condiciones sedimentológicas (Diessel, 1972, en Guatame y Sarmiento, 2003), se presentan en diversos sectores, de acuerdo a la distancia con el cuerpo de agua involucrado

y los aportes predominantes, como se puede ver en la figura 3. Estos ambientes están caracterizados por la cobertura de agua, los procesos químicos y la distancia a la costa, lo cual produce unas acumulaciones características de organismos microscópicos, los cuales están representados por la variedad de macerales, microlitotipos o litotipos que se encuentran en el carbón.

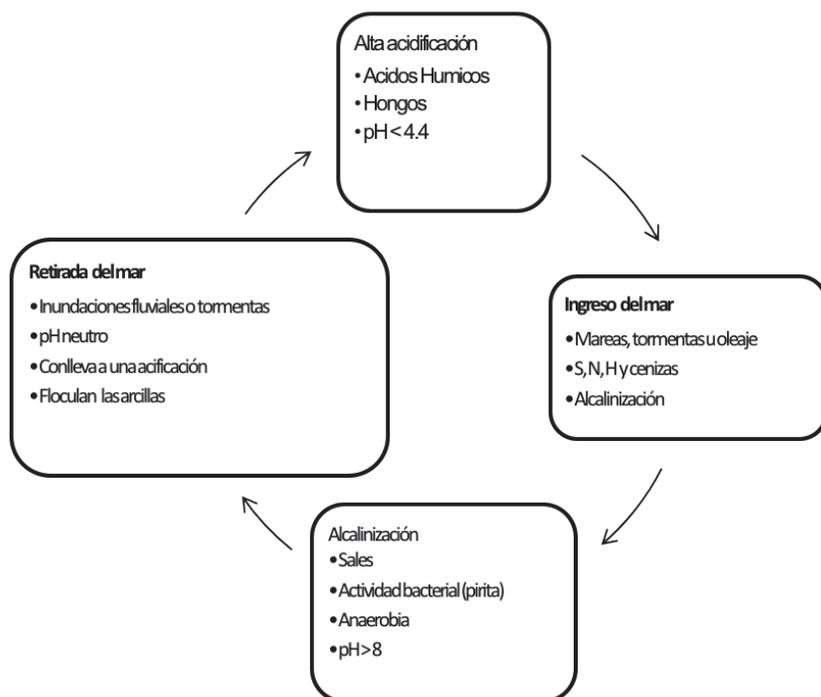
Como estas acumulaciones dependen de la biota que llega al sitio de depósito, es importante tomar en cuenta las consideraciones de Phillips *et al.* (1997), quienes dividen las asociaciones botánicas en 6 zonas, de acuerdo a las condiciones imperantes en el medio, a nivel muy local. Brock (1999) y Engel y Macko (1993), proponen unas asociaciones bacteriales, las cuales inciden en la preservación o descomposición de la materia orgánica dentro de este mismo medio, pero sin especificar condiciones y lugar dentro de este ambiente específico.



**Figura 3.** Zonificación de biotas y microlitotipos según Diessel, 2000. (Modificado de Guatame y Sarmiento, 2003).

Se propone el esquema de la Figura 4, (Modificado de Vessey *et al.* 2000 y Singh *et al.* (2002), el cual explica el ciclo de una turbera dependiendo del ingreso y la retirada del mar. Este ciclo está incluido en uno mayor, que depende del régimen

de lluvias en épocas secas y épocas húmedas; influido por mareas vivas o muertas, evidenciado en alociclos menores y mayores, representados por los diferentes micro-bandeamientos de los microlitotipos en el carbón.



**Figura 4.** Ciclo de la turbera. Basado y modificado de Vessey & Bustin (2002 y Singh & Singh 2000).

La zonificación vegetal se define por las especies predominantes: Se proponen 5 zonas (Tabla 3), en vez de las 6 zonas propuestas por Phillips *et al.* (1997), para el Istmo de Panamá, que asemeja las condiciones de estos pantanos antiguos.

Se observa la influencia de las bacterias y los hongos sobre todo el medio y considerando que existen trabajos muy específicos sobre la zonación de bacterias como los de Brock (1999) y Engel, M.H *et al.* (1993), se propone una zonación, que da idea del comportamiento de dichos organismos en las turberas.

**Tabla 3:** Propuesta de zonificación botánica (Basado y Modificado de Phillips *et al.*, 1997).

Zona	Descripción
Zona A	La zona de plantas acuáticas más profundas, con bacterias y más anóxica en profundidad.
Zona B	La zona de pastos y juncos, que emergen a superficie, anóxica y con bacterias.
Zona C	La zona de plantas con raíz expuesta, en la zona intramareal.
Zona D	La zona de plantas leñosas, que están en partes oscilantes, con afectación de hongos parásitos. (Se fusiona dos zonas de Phillips <i>et al.</i> , 1997).
Zona E	La zona de plantas leñosas que están en zonas expuestas del todo, en la mayoría de tiempo en zona de llanura, ya muy afectada por hongos parásitos

**Tabla 4:** Descripción de zonas bacteriales (Modificado de Brock 1999, y Engel *et al.*, 1993).

Zona	Descripción
Zona I	Zona de bacterias rojas y verdes del azufre, y metanogénicas.
Zona II	Zona de cianobacterias, bacterias rojas y verdes del azufre (zona más alcalina y reductora).
Zona III	Zona de cianobacterias.
Zona IV	Zona de bacterias aeróbicas (oxidantes) y nitrificantes.
Zona V	Zona de cianobacterias.
Zona VI	Zona de cianobacterias y homoacetogénicas.
Zona VII	Zona de bacterias homoacetogénicas y metanogénicas.

Esta distribución entre plantas y bacterias permite organizar mejor las asociaciones biológicas de la zona. Se propone además un esquema más sencillo, que tiene en cuenta solo la cobertura de agua, sin las complicaciones

geográficas que se dan para las zonificaciones, de esteros, estuarios y pantanos mayores asociados, presentes en los climas tropicales lluviosos; dicha repartición de ambientes se describe en la tabla 5.

**Tabla 5:** Zonificación de las turberas de acuerdo al pH, Eh, biota y a la cubierta de agua (Propuesto en este estudio, modificado de los trabajos de los autores nombrados en el texto).

Posición geográfica	Río	Cubierta Completa	Cubierta Casi Completa	Cubierta Oscilante	Cubierta con charcos profundos	Cubierta Oscilante	Cubierta Casi Completa	Cubierta Completa	Mar o estuario
Reacción (Eh)	Oxidación	Reducción - Oxidación				Oxidación - Reducción			Oxidación
Acidez (pH)	Alcalino Acido					Acido Alcalino			
Biota	A I B II C III D E (IV) D V C VI B VII								
Leptinitas	Alginitas Cutinitas Esporinitas Resinitas Esporinitas Cutinitas Alginitas								
Microlitotipos	+ Lípticos + Víttricos + Inertiniticos + Víttricos + Lípticos								

En este modelo, las turberas pueden variar desde una posición cercana a la llanura aluvial, parte izquierda de la tabla 5, hasta el mar (en el extremo derecho); cada posición tiene unas características determinadas que se dan en la tabla 5. La biota está determinada por la zonación botánica (letras) y la zonación bacteriana (números Romanos), tomada de las tablas 3 y 4, cuya variación se da desde el continente hacia el mar.

El resultado de las condiciones existentes, se refleja en el contenido de macerales, principalmente de las leptinitas y en su repartición en los diferentes microlitotipos. De acuerdo a Varma, A.K. (2002), la cantidad de macerales y la configuración de los microlitotipos determinan algunas características químicas como la liberación de volátiles en su descomposición, y el anillado de las cadenas determinado en los análisis termo gravimétricos (TGA) e influyen en los resultados de los análisis de resistencia de los coques como el análisis de reactividad del coque al CO<sub>2</sub> (CSI) y el análisis de resistencia después de reacción (CSR). Basados en la temperatura de reacción de cada material y en las distintas reacciones que se dan en el proceso de coquización, se puede determinar su capacidad reológica y se le puede dar un mejor uso a los carbones.

## METODOLOGÍA

Se presenta una descripción del procedimiento de preparación de muestras y la forma en que se realizaron los análisis de macerales, microlitotipos, reflectancia,

y petrológicos con todas sus variantes. Se realizó una preparación de 6 secciones pulidas (por medio de triturado), obtenidas de muestras de canal o núcleos de distintos lugares de la zona del Catatumbo, que están debidamente geo-referenciadas y a las que se les hicieron los siguientes procedimientos:

- Conteo de puntos para los grupos macerales, microlitotipos y fluorescencia (500 puntos de conteo);
- Toma de imágenes para la reflectancia total (150 pares en baja y alta exposición)
- Análisis de microlitotipos a partir de imágenes y conteo en el microscopio.

Además, se efectuaron observaciones de fluorescencia a partir de imágenes (150 imágenes).

## RESULTADOS

En el análisis de macerales, se realizó un conteo de 500 puntos a lo largo de la muestra, en un microscopio de reflectancia, en donde se tomaron cinco parámetros básicos cuyos resultados se describen en la tabla 6.

La clasificación de los carbones por tipo, propuesta por Alpern *et al.* (1989) y aceptada por el ICCP (Comité internacional de petrología del carbón); da como resultado tres carbones de tipo vítrico y tres de tipo líptico, y el promedio de resultados da un carbón líptico (Tabla 7), después de excluir la materia mineral.

**Tabla 6:** Clasificación del Carbón de acuerdo a los grupos Macerales.

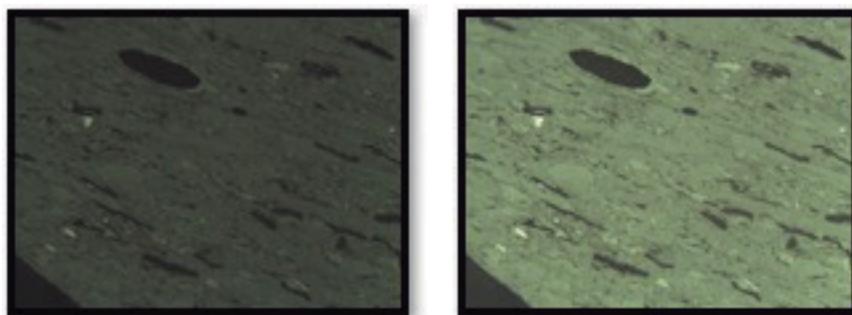
Muestra	Vitrinitas (%)	Inertinitas (%)		Exinitas (%)	Materia Mineral	
		Semifusinita	Otras		Arcilla	Pirita
1-GPS – 66	52.4	19.2	2	23.1	1.8	1.6
2- GPS – 13	48.8	11.0	1.6	23.7	5	10
3- CS – 3 (3)	66.4	14.5	1.3	15.3	1.5	1
4- CS – 3 (1)	64.2	13.6	2.4	18.0	0.6	1.2
5- GPS – 45	55.0	13.3	4.2	18.1	8.2	1.2
6- GPS45-1	65.5	11.1	1.2	18.1	2.2	2
Promedio	58,7	13,8	2,1	19,4	3,2	2,8

**Tabla 7:** Porcentaje de grupos macerales normalizados.

Muestra	Vitrinitas (%)	Inertinitas (%)	Leptinitas (%)	Clase
1- GPS – 66	54.2	21.9	23.9	Líptico
2- GPS – 13	57.4	14.8	27.9	Líptico
3- CS – 3 (3)	68.1	16.2	15.7	Vítrico
4- CS – 3 (1)	65.4	16.3	18.3	Vítrico
5-GPS – 45	60.7	19.3	20.0	Líptico
6-GPS-45-1	68.4	13.8	18.8	Vítrico
<b>Promedio</b>	<b>62,4</b>	<b>17,1</b>	<b>20,8</b>	<b>Líptico</b>

Se observa que todos los carbones están cerca del límite vítrico-líptico; lo cual les da una característica de tipo diferente a los carbones de las regiones central (Cundinamarca y Boyacá) y atlántica (Guajira y Cesar), que son predominantemente vítricos.

Para los análisis de reflectancia por medio de imágenes, se realizó una toma de 150 pares de imágenes en máxima y mínima exposición (Figura 5), los cuales se promedian y se realizaron dos gráficos, uno Gaussiano que da la media de la muestra para la vitrinita (Figura 6); y el otro de frecuencias acumuladas que da el porcentaje aproximado de macerales y la reflectancia media de toda la muestra, por curvas de inflexión y rectas tangentes (Figura 7).


**Figura 5.** Foto en microscopio de mínima (izquierda.) y máxima (derecha) exposición (muestra 1).

En la figura 6, se muestra la repartición gaussiana de la frecuencia de la reflectancia de los macéras totales, entre 0 y 2,5 de la cual se puede obtener la reflectancia media de la vitrinita. (0,458%).

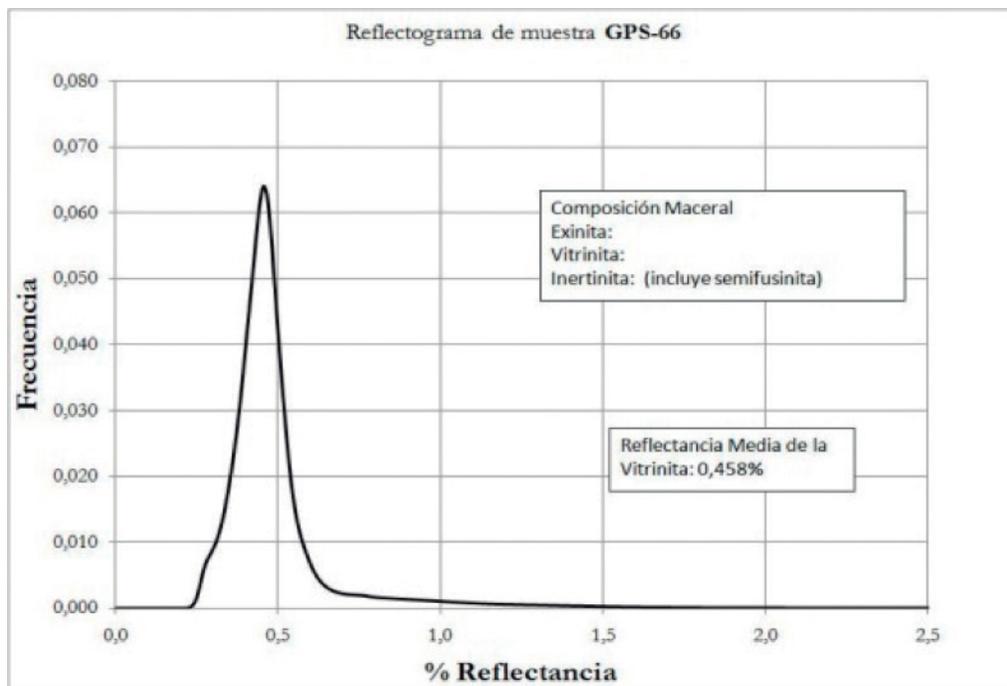


Figura 6. Reflectograma de la muestra 1 (GPS-66).

En la figura 7, se observan las curvas efectuadas para la misma muestra con frecuencia y frecuencia acumulada. En esta última, se pueden ver dos inflexiones de la curva, una en valores bajos, y la otra en valores altos de reflectancia, que al examinar en las coordenadas de la

parte derecha, coinciden con el porcentaje de leptinitas de 25% (entre 0,20 y 0,30 de reflectancia); y coinciden en el porcentaje de vitrinitas de 55% (entre 0,30 y 0,58) y en el porcentaje de inertinitas de 20 % (entre 0,58 y 0,70).

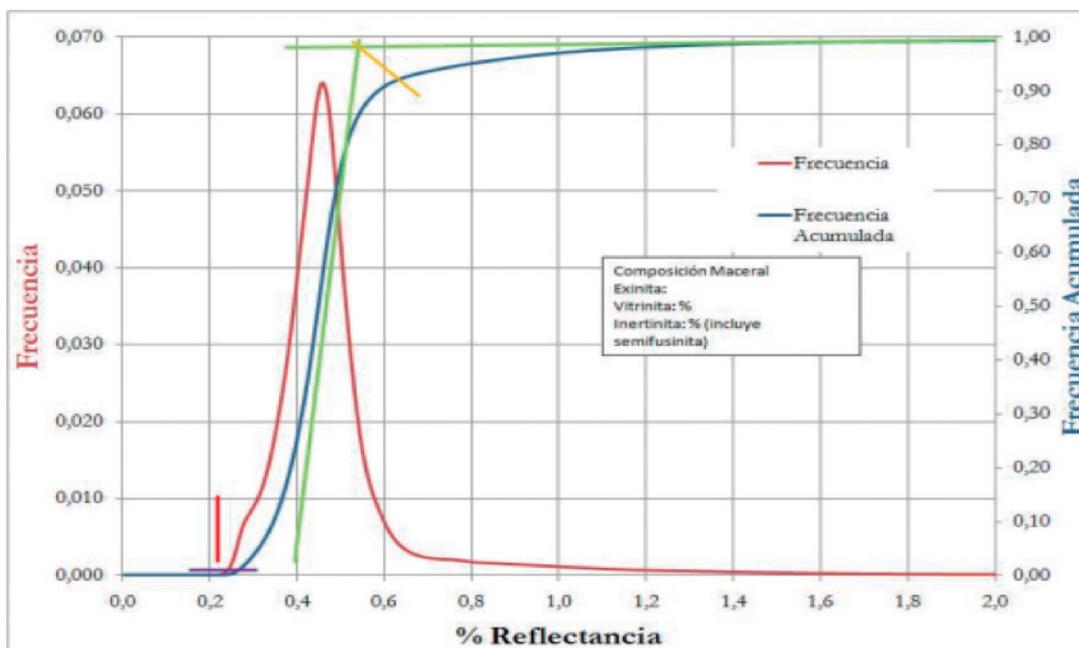


Figura 7. Reflectograma combinando la frecuencia y la frecuencia acumulada.

Se efectuó una comparación de la medida de la reflectancia de la vitrinita por el método tradicional y el método de analizador de imágenes, y se presentan los

datos en la tabla 8. Además se dan las diferencias entre los dos cálculos y la clasificación por rango tomada de Stach (1975).

**Tabla 8:** Reflectancia media de la vitrinita, medida por diferentes métodos.

Muestra	Reflectancia media (%)		Diferencia	Clasificación por rango
	LICE	INGEOMINAS		Stach 1975)
1-GPS – 66	0.46	0.49	0.03	Bituminoso alto volátil C
2-GPS – 13	0.43	0.40	0.03	Subituminoso A
3-CS – 3 (3)	0.44	0.49	0.05	Bituminoso alto volátil C
4-CS – 3 (1)	0.50	0.49	0.01	Bituminoso alto volátil C
5-GPS 45 (2)	0.51	0.47	0.04	Bituminoso alto volátil C
6-GPS 45 (1)	0.39	0.51	0.12	Bituminoso alto volátil C
<b>Promedio</b>	0.46	0.48	0.02	Bituminoso alto volátil C

Este resultado de la reflectancia media de la vitrinita tomada en el laboratorio de combustibles del departamento de Química (LICE), es comparado con el obtenido en Ingeominas Bogotá, que usa la norma ASTM en su medición.

La clasificación por rango de la ASTM, basada en la reflectancia da en promedio un Carbón Bituminoso alto volátil C. Esta clasificación se debe comparar con la clasificación resultante de los análisis próximos, que se basa en el contenido de materia volátil y en el poder calorífico.

El análisis de microlitotipos, se realiza con un conteo de 500 puntos en imágenes tomadas con un aumento de 320, basado en micro- bandeamientos; separando las bandas de macérales mayores de 50 micras. Para las muestras analizadas, se obtuvieron los resultados transcritos en la tabla 9, y se dan las subdivisiones según la siguiente nomenclatura:

V: vitrita, L: liptita, F: fusita; C: clarita, D: durita, Vn: vitrinertita; DC: Duroclarita, Tm: trimacerita, Lp: líptica, In: Inertinitica; CD: Claro durita; VIL: vitrinertoliptita; CA: Carbargilita; CP: Carbopirita.

**Tabla 9:** Porcentajes de microlitotipos con su clasificación.

Muestra	Monomaceral			Bimaceral			Trimaceral					Materia Mineral	
	V	L	F	C	D	Vn	DC			CD	VIL	CA	CP
							Tm	Lp	In				
1-GPS – 66	16.4	0	1.6	28.7	0	9.7	18.4	9.9	12.3	1.2	0	0.6	1.2
2-GPS – 13	10.3	0	0.2	15.8	0	1.0	13.7	21.8	16.4	4.0	0	7.9	9.5
3-CS – 3 (3)	19.6	0	3.6	12.4	0	12.2	10.8	11.4	23	3.6	0	3.4	0
4-CS – 3 (1)	17.2	0	2.2	21.8	0	5.4	21	17.8	10.8	1.6	0	2.2	0
5-GPS 45 (2)	10.3	0	5.7	10.1	0	7.5	18.8	19.2	21.3	4	0	2.9	0.2
6-GPS 45 (1)	34.1	0	0.4	31.3	0	4	6.4	10.9	9.9	0.1	0	2.7	0.1
<b>Promedio</b>	18,0	0	2,3	20,0	0	6,6	14,9	15,2	15,6	2,4	0	3,3	1,8

Con la normalización respectiva se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 10:** Porcentajes de microlitotipos con su clasificación final (tipo).

Muestra	Monomacerales (%)	Bimacerales (%)	Trimacerales (%)	Tipo
1-GPS – 66	18.34	39.11	42.54	Trimaceral
2-GPS – 13	12.71	20.38	66.91	Trimaceral
3-CS – 3 (3)	24.02	25.47	50.51	Trimaceral
4-CS – 3 (1)	19.84	27.81	52.35	Trimaceral
5-GPS 45 (2)	16.77	18.43	64.8	Trimaceral
6-GPS 45 (1)	35.59	36.32	28.09	Bimaceral
<b>Promedio</b>	21,21	27,92	50,87	Trimaceral

Con los anteriores datos, se determina que los carbones por tipo, son en su mayoría trimacerales, hecho que tiene implicaciones en su ambiente de formación, en su ubicación en la turbera y en las características para aplicación a nivel industrial. En el análisis de fluorescencia se obtuvieron 500 puntos por medio de 150 imágenes, con un aumento de 620 veces, por lo cual fue posible la observación de formas y colores de cada leptinita, obteniéndose los resultados de la tabla 11.

Las cutinitas muestran colores café rojizos, las esporinitas y las resinitas muestran colores amarillos, verdes y azules, y las alginitas muestran amarillos verdosos. El contenido de leptinitas influye en la cantidad de hidrógeno y compuestos alifáticos de los carbones, presentando un aumento relativo de materias volátiles.

**Tabla 11:** Porcentaje de cada Leptinita (Ma: Macro esporinitas y Mi: Micro-esporinitas).

Leptinitas Muestra	Cutinita (%)	Resinita (%)	Esporinita (%)		Alginita (%)	Detroleptinita (%)
			Ma	Mi		
1-GPS – 66	33.1	25.5	0.6	21.5	7.0	12.3
2-GPS – 13	38.8	23.4	0.4	18.3	8.3	10.8
3-CS – 3 (3)	33.9	25.7	0	22.0	4.8	13.6
4-CS – 3 (1)	36.8	17.8	0.8	24.5	6.1	14.1
5-GPS 45 (2)	28.9	27.3	0	22.3	8.6	12.9
6-GPS 45 (1)	39.8	20.4	0.8	22.2	5.8	11
<b>Promedio</b>	35,2	23,4	0,4	21,8	6,8	12,5

Los análisis próximos realizados en el Ingeominas-Bogotá, y que se utilizan en la industria para determinar el rango del carbón, dan los resultados que se transcriben en la tabla 12, tal como se obtuvieron.

**Tabla 12:** Análisis Próximo de las Muestras (Realizado por Ingeominas, Bogotá).

Análisis Muestra	Carbono Fijo (%)	Materia Volátil (%)	Cenizas (%)	Humedad Residual (%)	Azufre (%)	Poder Calorífico (Cal/gr)
1-GPS – 66	52,22	41,52	1,80	4,46	0,80	7482
2-GPS – 13	38,76	40,96	17,77	2,51	6,31	6288
3-CS – 3 (3)	50,30	39,16	4,40	6,14	0,92	6859
4-CS – 3 (1)	50,42	38,96	4,08	6,54	0,88	6859
5-GPS 45 (2)	44,98	38,23	12,87	3,92	0,58	6524
6-GPS 45 (1)	53,24	40,47	1,45	4,84	0,69	7286
<b>Promedio</b>	48,32	39,88	7,06	4,74	1,70	6883

En la tabla 13 se dan los resultados modificados según las normas de la ASTM; el carbono fijo y la materia volátil se presentan secos, libres de materia mineral

(Slmm); y el poder calorífico se da húmedo libre de materia mineral (Hlmm), con el fin de determinar la clasificación por rango acorde a la ASTM.

**Tabla 13:** Análisis Próximo y clasificación por rango (Según ASTM).

Análisis	Carbono Fijo (%) Slmm	Materia Volátil (%) Slmm	Poder Calorífico (Cal/gr) Hlmm	Clasificación
Muestra				
1-GPS – 66	55,86	44,14	7639	Bituminoso alto volátil B
2-GPS – 13	50,13	49,86	7877	Bituminoso alto volátil A
3-CS – 3 (3)	56,56	43,44	7214	Bituminoso alto volátil C
4-CS – 3 (1)	56,72	43,27	7188	Bituminoso alto volátil C
5-GPS 45 (2)	54,94	45,06	7605	Bituminoso alto volátil B
6-GPS 45 (1)	56,94	43,06	7409	Bituminoso alto volátil B
<b>Promedio</b>	55,33	44,67	7476	Bituminoso alto volátil B

Estos carbones se clasifican como bituminosos alto en volátiles, desde el C, hasta el A, utilizando el poder calorífico, ya que la materia volátil excede el 31 %; el promedio de todos los valores, da un carbón bituminoso alto volátil B.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con respecto al contenido maceral de estos carbones, se ve que están en el límite entre vítrico-líptico, que indica que el aporte de leptinitas es mayor que el de la mayoría de los carbones colombianos, especialmente los de la Formación Guaduas del centro del país y los de la Formación Cerrejón de la región Atlántica. Probablemente fueron formados en una zona de ante-barrera, con una anoxia algo marcada y mucha vegetación presente.

Complementando los análisis de macéras, están los análisis de microlitotipos, que tienen una gran incidencia dentro de las interpretaciones a realizar, ya que la mayoría dan Trimacerales a excepción de la muestra 5 que es bimaceral, lo cual permite deducir que la repartición uniforme de los tres grupos macéras fue favorecida por actividades de la marea y en parte de los vientos que ayudaron a acumular los componentes en proporciones similares.

Con base en la fluorescencia, se puede observar que en todas las muestras predomina la cutinita y según la ubicación de las muestras, las más cercanas al mar (muestras 2 y 3), tienen una alta cantidad de alginita (8–9 %) y las más cercanas a las zonas de ante-barrera son ricas en esporinitas. En la determinación del rango de estos carbones, se usaron dos análisis, que son los de reflectancia de la vitrinita y el análisis próximo.

En los análisis de reflectancia, se obtuvieron valores desde 0,4 hasta 0,5 lo cual indicaría que la evolución diagenética de la materia orgánica, es aun inmadura (correspondiendo a carbones subbituminosos) y se realizó en condiciones de baja temperatura.

Con base en los análisis próximos los carbones se clasificaron desde bituminosos altos volátiles C (muestras 3 y 4), pasando por los bituminosos alto volátiles B (muestras 1, 5 y 6), hasta los bituminosos alto volátiles A (muestra 2), indicando condiciones de mayor carbonificación.

Este hecho significa que, los carbones debido a su tipo, o sea a su contenido maceral y de microlitotipos, posiblemente al alto contenido de leptinitas y a su carácter trimaceral, presentan un mayor poder calorífico que el esperado para el rango geológico representado en la reflectancia de las vitrinitas.

Las características petrográficas de las leptinitas observadas en las muestras, confirman que en el proceso de carbonificación las partes de las plantas o biomasa (resinas, ceras, esporas y polen) que dieron origen a estos carbones durante la diagénesis, se transformaron muy poco (poca maduración de esta materia orgánica reactiva) y por tanto influyen en los resultados petrográficos y en los análisis de fluorescencia.

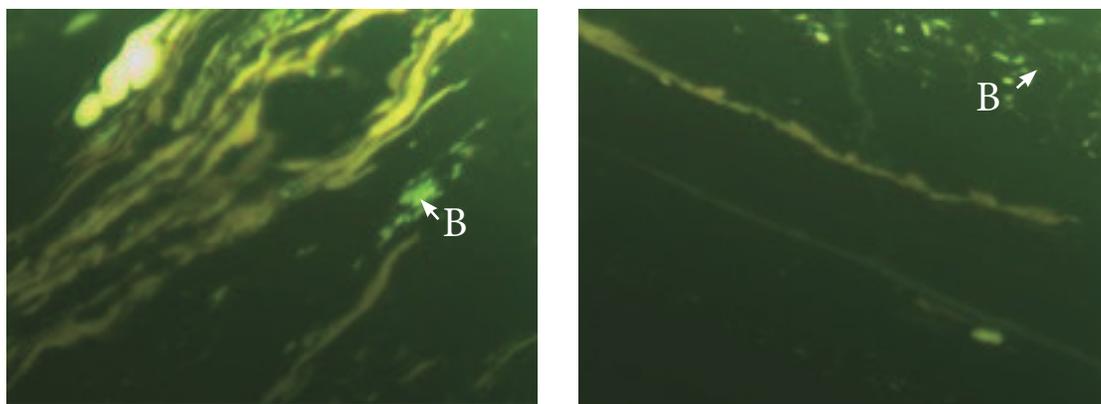
El contenido de materia volátil es el esperado para la reflectancia de la vitrinita en todos los carbones, según los parámetros de rango de Stach (1975), donde se observa que a una reflectancia entre 0,4 y 0,5 le corresponden valores de materia volátil seca, libre de cenizas entre 51% y 46%. En el análisis paleo ambiental, se puede decir que la turbera se desarrolló en un ambiente de

ciénagas y pantanos costeros, con influencia mareal, lo cual se determina por aportes tanto de algas marinas como de algas continentales y de partes carbonizadas desarrolladas en ambientes continentales en una zona pantanosa interior. En general pertenecen a carbones parálisos, con unas condiciones de un clima tropical húmedo.

A nivel paleo-ecológico, se considera que las muestras con más pirita y arcilla, son más cercanas al mar, coincidiendo con las de mayor contenido de leptinitas (muestra 2); mientras que las que tienen más inertinitas, son las más continentales. Según las asociaciones de microlitotipos de los carbones estudiados, los gráficos

de Singh en Mejía *et al.* (2006), mostrarían la formación de estos carbones en un pantano con variaciones desde oxígeno (interacción de corrientes someras), hasta anóxico (aguas estancadas) con moderada a alta inundación; dichos carbones serían formados en pantanos oligotróficos (agua lluvia sectorizada), pero húmedos en algunos sectores (aguas externas de forma temporal), en los cuales habría sobresaturación de agua.

Por medio de la fluorescencia, se lograron diferenciar dos géneros de algas que se pueden reconocer (según Filho, *et al.*, 2010) como *Botryococcus*, y *Pediastrum*, como se puede ver en la figura 8.



**Figura 8.** Microfotografía de Alginitas bajo fluorescencia (muestra 1, lado izquierdo y muestra 6, lado derecho) (B: *Botryococcus*, P: *Pediastrum*).

Estas algas definen muy bien dos sub ambientes: *Botryococcus*, tolera la zona inter-mareal, y *Pediastrum*, proviene de zonas de menores variaciones como es la parte fluvial. Usando los gráficos presentes en Singh *et al.*, (2000) y los diagramas presentados por Hunt y Smith (1989), se puede determinar la existencia de una cuenca de “foreland”, hecho respaldado con el diagrama de Hunt y Cameron (1985), aplicado para microlitotipos.

A los carbones estudiados no se les efectuaron análisis para determinar su comportamiento termoplástico (material residual y pérdida de material), importante para determinar la reactividad de los macérales (aplicación térmica y reológica del coque), debido a que normalmente este rango de carbones no presenta buenas características de plasticidad. De acuerdo al rango de estos carbones, que son en general Bituminosos Alto Volátiles B, estos pueden ser utilizados para la producción de calor en calderas o la producción de gas en el proceso de carbonización.

## CONCLUSIONES

Los carbones de la formación Los Cuervos son lípticos, trimacerales y bituminosos desde altos volátiles A hasta

altos volátil C, según la clasificación de la ASTM; con una presencia alta de leptinitas (hasta 27%), demostrada con los resultados de fluorescencia; en los cuales se observa una gran contribución de las cutinitas y además un contenido reconocible de alginitas.

Se propone un modelo de ciclo en la turbera, que es una aproximación teórica de los distintos fenómenos que suceden con las asociaciones biológicas, simulando las incidencias naturales de los ecosistemas, basado en el comportamiento de los microlitotipos y complementado con el reconocimiento de alociclos, que están en función de los procesos biológicos y sedimentarios, que quedan en el registro estratigráfico. En este caso se presenta una sucesión transgresiva, con una ligera diferenciación de vegetación y una zonificación de biozonas determinada por la presencia de leptinitas en un ambiente sobresaturado de agua.

Estos carbones son aptos tanto para procesos de combustión como para procesos de carbonización y sus características servirán para darles la aplicación económica más adecuada. El nuevo método de análisis petrográfico de carbones utilizado en este trabajo, se basa en el análisis de imágenes, que se efectuó en un

solo conjunto para reflectancia, conteo de macérasles y microlitotipos, haciéndolo más ágil que el método usado por la ASTM.

## BILIOGRAFIA

- ALPERN B, LEMOS M, FLOREZ D.** (1989). A progress report on the Alpern coal classification. *Int. Jour. Of Coal Geology*, Vol. 13.
- ANH.** (2007). Colombia Oil and Gas.
- BARREROD, PARDOA, VARGASC.A, MARTÍNEZ J.F.** (2007). Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal; ANH; 92 p.; Bogotá.
- BLANCO V, GARCIA D. BLANCO Y, GALLO M.** (2009). Un Sistema Petrolífero De Edad Terciaria En La Cuenca Catatumbo–Colombia: Evidencia de una Roca Generadora de Edad Paleoceno; ACGGP; 10 p.
- CROSDALE P.J, SOROKIN A.P, WOOLFE K.J, MACDONALD D.I.M.** (2002). Inertinite–rich Tertiary Coals from the Zeya–Bureya Basin, Far Eastern Russia; *International Journal of Coal Geology*; 51; 215 – 235.
- DIESEL C, BOYD R, WADSWORTH J, LECKIE D, CHALMERS G.** (2000). On Balanced and Unbalanced Accommodation/Peat Accumulation Ratio in the Cretaceous Coals from Gates Formation, Western Canada, and Their Sequence – Stratigraphic Significance; *International Journal of Coal Geology*; 43; 143 – 186.
- GÓMEZ F.A; HENAO L.E; PÉREZ F.H.** (1995). Estudio de Reflectancia y Fluorescencia de Carbones Colombianos; Tesis de Grado; Universidad Nacional de Colombia; Facultad de Ciencias; Departamento de Química; Bogotá; 80 pág.
- GUATAME C. L, SARMIENTO G.** (2003) Interpretación de Ambientes Sedimentarios de Los Carbones de la Formación Guaduas a partir de Análisis Petrográfico; 23 pag.
- GUERRERO J.** (2002) A Proposal on the Classification of System Tracks: Application to the Allostratigraphical and Sequence Stratigraphy of the Cretaceous Colombian Basin; *Geología Colombiana*; No 27; 3 – 25.
- HOWER J.C, O’KEEFE J.M.K, EBLE C.F, VOLK T.L, RICHARDSON A.R, SATTERWHITE A.B, HATCH R.S, KOSTOVA I.J.** (2010). Notes on the origin of inertinite macerals in coals: Funginite associations with cutinite and suberinite; *International Journal of Coal Geology*.
- INGEOMINAS Y MINERCOL.** (2004). El Carbón Colombiano, Recursos, Calidad y Reservas; 470 pp.; Bogotá.
- LUNDBERG J, MARSHALL L, MALABARBA M. C, GUERRERO J, HORTON B, WESSELINGH.** (1998). The Stage for Neotropical Fish Diversification: A History of Tropical South American Rivers; Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes; Part 1 – Fossil and Geological Evidence; 36 pag.
- MADIGAN M.T, MARTINKO J.M, PARKER J; BROCK.** (1999). *Biología de los Microorganismos*; Pág. 635–740; 8° Edición; Prentice Hall; Madrid.
- MENDONÇA FILHO J.G, CHAGAS R.B.A, MENEZES T.R, MENDONÇA J.O, DA SILVA F.S, SABADINI –SANTOS E.** (2010). Organic Facies of the Oligocene Lacustrine System in the Cenozoic Tabauté Basin, Southern Brazil; *International Journal of Coal Geology*; On line Article; 2010.
- MEJÍA L, CONVERS C Y GONZÁLEZ J.** (2006). Análisis de Microlitotipos en los Carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal de Sueva, Cundinamarca; *Geología Colombiana*; No 31; p.11–26.
- PATARROYO P.** (2005). *Principios de Paleontología*; Universidad Nacional de Colombia; 120 pág; 1era Edición; Bogotá.
- PEÑALOZA D.N.** (2010). Fluorescencia de Rayos X y Análisis Petrográfico de Carbones Provenientes del Municipio de Tibú, Departamento de Norte de Santander; Tesis de Grado; Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias; 24 pág.; Bogotá.
- RINCÓN A.F, ROMERO J.I, CUELLAR J.V.** (2007). Evaluación Cartográfica y Geológica Económica del Contrato F–13–152; 28 pág.; Geofising E.U; Mayo; 2007.
- ROMERO M, NÚÑEZ A, MEJÍA L, CADENA A, HERNÁNDEZ O, AGAMEZ Y Y DÍAZ J** (2007). Análisis de Microlitotipos de Carbones de la Región Cundi–Boyacense; *Geología Colombiana*; No 32; 63–68.
- STACH, E.; MACKOWSKY TH.; TEICHMULLER, M.; TAYLOR, G.H.; CHANDRA, D. Y TEICHMULLER, R.** (1975). *Textbook of coal petrology*. Gebruder Borntraeger. Berlin. Stuttgart.
- SINGH A.** (2002). On a Striking Fluorescing Micro component of Tertiary Indian Lignites; *International Journal of Coal Geology*; 51; 59 – 65.
- VAN DER HAMMEN T.** (1958). Estratigrafía Del Terciario y Mastrichtiano; *Boletín Geológico*; Volumen IV, No 1-3; Servicio Geológico Nacional.
- VESSEY S.J, BUSTIN R.M.** (2002). Sedimentology of the Coal – Bearing Mist Mountain Formation, Line Creek, Southern Canadian Cordillera: Relationship to Coal Quality; *International Journal of Coal Geology*; 42; 129 – 158.

