

CARBONES

ANÁLISIS DE LIBERACIÓN DE LOS GRUPOS DE MACERALES DEL CARBÓN: CARBONES COLOMBIANOS

Olga P. Gómez R.¹, Inés Carmona L.² & Oswaldo Bustamante R.³

1. Geól., Ms.C, 2. Geól., Ms.C, 3. I.M.M., Ph.D

*Escuela de Ingeniería de Materiales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Medellín
opgomez@unal.edu.co, icarmona@unalmed.edu.co, mobustam@unalmed.edu.co*

Recibido para evaluación: 11 de Abril de 2007 / Aceptación: 09 de Noviembre de 2007 / Recibida versión final: 14 de Noviembre de 2007

RESUMEN

Tres muestras de carbón de diferentes zonas carboníferas de Colombia fueron seleccionadas con el objeto de evaluar el grado de liberación de los grupos macerales en diferentes granulometrías. Se siguió el método empleado en los estudios de la liberación de minerales en rocas duras, el cual evalúa la proporción de componentes libres y mixtos, mediante el análisis petrográfico de los productos obtenidos durante la molienda. Las muestras analizadas corresponden a carbones de las zonas carboníferas de la Guajira Antioquia, y Boyacá, los dos primeros carbones clasificados como térmicos y el último como un carbón coquizable. Los grupos de macerales en el carbón, se comportan de forma similar a como que lo hacen los minerales constituyentes de las rocas durante la reducción de tamaño, encontrándose una tendencia al incremento de constituyentes libres. El análisis de liberación maceral muestra que la amplia variación de formas, tamaños y asociaciones (microlitotipos) que presentan los distintos grupos de macerales, definen las proporciones de componentes libres y mixtos. El grupo maceral que presenta mayor probabilidad de encontrarse libre es la vitrinita, ya que es el maceral que está en mayor proporción, esto se evidencia en el dominio del microlitotipo vitrita en las distintas muestras; el segundo grupo es la inertinita especialmente para los carbones de Boyacá y La Guajira, la distribución de tamaño y forma de presentación de los macerales del grupo de la inertinita (tejidos particulados) favorecen su liberación. Las liptinitas por su estrecha asociación con la vitrinita y su baja proporción en los carbones de Boyacá y La Guajira, solo presentan un grado de liberación significativo en la muestra de Antioquia. Para obtener un mayor grado de liberación de los componentes es necesario llevar los carbones a granulometría inferiores a 10 micras.

PALABRAS CLAVES: Carbón, Macerales, Liberación.

ABSTRACT

Three coal seams of different Carboniferous Zones from Colombia were selected with the intention of evaluating the degree of liberation of the macerals groups. The method used in the studies mineral liberation of the hard rock was followed. The analyzed samples correspond to coals of the Carboniferous Zones of La Guajira, Antioquia, and Boyacá, the analysis of liberation of the macerals was based on the results of the petrography analysis (determination of the percentage of free macerals and particles with mixed composition) of the samples with grain size mesh 230, 270, 325 and 400. During the pulverize the macerals groups in the coal present a tendency to the increase of free components. The liberation is not delimited at intervals of size, as usually happens in the minerals, the sizes oscillates between 5 and 350 microns for the liptinites and between 5 and 504 microns for the inertinites. The forms, sizes and associations (microlithotypes) that present the different groups from macerals, define the proportions of component free and mixed. The group maceral that presents greater probability of being frees is the vitrinite, because it is the maceral that is in greater proportion, this is demonstrated in the dominion of microlithotype vitrite in the different samples; the second group is the inertinite specially for the coals of Boyacá and La Guajira, the distribution of size and form of presentation of the macerals of the group of the inertinite (particle tissues) help their liberation. The liptinites by their association with the vitrinite and its low proportion in coals of Boyacá and La Guajira only present a significant degree of liberation in the sample of Antioquia. In order to receive a greater rank of liberation of the components it is necessary to take inferior coals to grain size a to 10 microns.

KEY WORDS: Coal, Macerals, Liberation.

1. INTRODUCCIÓN

El carbón no es una sustancia homogénea, esta constituido por varios componentes microscópicos de origen orgánico a los cuales se les denomina «Macerales», Stach, (1982), Bustin (1983).

El Comité Internacional de Petrografía del Carbón, ICCP (1994 y 2001), los ha clasificado en tres grupos Vitrinitas/ Huminitas, Liptinitas/Exinitas e inertinitas, los macerales se distinguen microscópicamente por la forma, tamaño, estructura, color, relieve, poder reflector, anisotropía, dureza y fluorescencia, Bustin, (1983).

Los procesos de separación de los grupos de macerales requieren de una fase inicial de liberación. Tradicionalmente el análisis de liberación se ha efectuado en rocas duras y en los carbones con el fin de remover la materia mineral asociada.

En el presente trabajo se buscó valorar mediante las metodologías que usualmente se han empleado en los análisis de liberación mineral en rocas duras (reducción de tamaño y cuantificación petrográfica de la fracción liberada y de sus mixtos), Yepes, (1988), si los grupos macerales del carbón se comportan de manera similar a como lo hacen los minerales con la reducción de tamaños y determinar el comportamiento de los distintos componentes orgánicos durante la molienda, tratando de determinar la granulometría a la cual ellos se encuentran liberados.

1.1. Localización geográfica

Colombia localizada en el noroeste de Sudamérica, cuenta con grandes reservas de carbón bituminoso de excelente calidad, actualmente es el cuarto exportador mundial de carbón térmico y en los últimos años participó con más del 5% de las exportaciones mundiales, Los carbones se encuentran distribuidos en las tres cordilleras colombianas, Occidental, Central y Oriental y clasificados con base en el grado de estudio en diez zonas carboníferas. Ingeominas, (2004). La zona carbonífera es una superficie que abarca una o más áreas con carbón, geográficamente asimilable a dos departamentos Ecocarbón, (1995a:49.en Ingeominas, 2004)

Los carbones estudiados pertenecen a las zonas carboníferas de la Guajira, Antioquia y Boyacá, localizadas en el norte, oeste y centro del país.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Tres muestras de carbón fueron seleccionadas para la identificación de sus componentes orgánicos (macerales) y sus asociaciones (microlitotipos); para el análisis de la distribución granulométrica de los componentes de los grupos de la liptinita e inertinita y el estudio de liberación maceral.

En el análisis petrográfico se utilizó un microscopio petrográfico de luz reflejada, marca Leitz con objetivo de inmersión de 32X; adicionalmente se empleó la retícula de Kötter's de 20 puntos para el análisis de microlitotipos. Los macerales liptiniticos se reconocieron bajo luz azul en este mismo microscopio con objetivo de 20X.

2.1. Análisis Manual de los Componentes Petrográficos

Mediante secciones pulidas de granos de carbón correspondientes a los carbones de las muestras seleccionadas (3 en total), según metodología propuesta por Taylor et al. (1998) (modificación de Stach, 1982) con el fin de determinar mediante un análisis combinado los componentes del carbón (grupos macerales y minerales) según la norma ASTM D 2799- 05. Para tal propósito se realizó un conteo de al menos 1000 puntos por cada sección.

2.2. Análisis Maceral Automático

El análisis de las tres muestras fue realizado empleando el microscopio que se utilizó en el análisis manual, y el software de análisis de imagen Leyca (con cuya licencia cuenta el Laboratorio de Carbones) que permite capturar, editar, procesar y analizar imágenes.

Se capturaron al menos cien imágenes en luz fluorescente y blanca, para cada una de las muestras de carbón, se estableció la distribución de tamaño de grano de cada uno de los macerales; los macerales del grupo de la liptinita se analizaron a partir de las imágenes bajo luz fluorescente.

2.3. Estudio de liberación

La liberación de los macerales se basó fundamentalmente en los resultados de los análisis petrográficos de las muestras llevadas a distintas granulometrías las cuales fueron establecidas con base en pruebas experimentales que permitieron observar la liberación gradual de los componentes macerales durante la molienda.

Las diferentes granulometrías, fueron obtenidas por trituración de las muestras en un molino de bolas, según los procedimientos presentados en la figura 1. De cada una de las granulometrías obtenidas, pasante malla 230, 270, 325 y 400 se elaboró una sección pulida para el análisis petrográfico.

El análisis petrográfico se enfocó en la determinación del porcentaje de macerales liberados y de partículas con composición mixta según la distribución definida en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes de macerales libres y mixtos evaluados durante el análisis de liberación de las zonas de Antioquia, Guajira y Boyacá.

LIBRES	Vitrinita	V
	Liptinita	L
	Inertinita	I
MIXTOS	Vitrinita+ Liptinita	V+L
	Liptinita+Inertinita	L+V
	Liptinita+ Inertinita	L+I
	Vitrinita+Liptinita+Inertinita	V+L+I

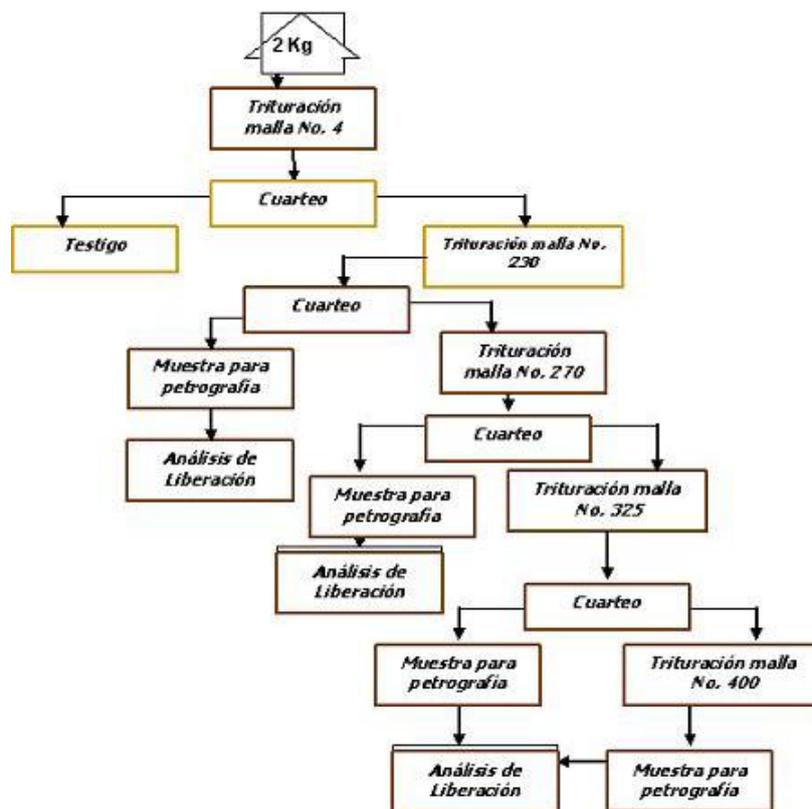


Figura 1. Esquema de preparación de las muestras de carbón para el análisis de liberación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características Micropetrográficas

Macerales. En general los carbones de las tres zonas seleccionadas están constituidos principalmente por macerales del grupo de la vitrinita (>70%), los demás grupos se encuentran en menor cantidad y en proporciones variables para cada zona. (Figura 2 y 3).

Los carbones de la Zona Carbonífera de Antioquia presentan un porcentaje de vitrinita del 84%, la liptinita se encuentra en un 11%, la inertinita y la materia mineral se encuentran en un porcentaje inferior al 5%. (Figura 2)

Los carbones de la Zona Carbonífera de Boyacá, están constituidos principalmente por vitrinita en un 84%, seguido por inertinita en un 11%, la liptinita y la materia mineral no alcanzan a superar el 3%. (Figura 3)

Los carbones de la Zona Carbonífera de la Guajira están constituidos por un 75% de vitrinita, un 20% de inertinita y un 2 y 3 % de liptinita y materia mineral respectivamente. (Figura 2)

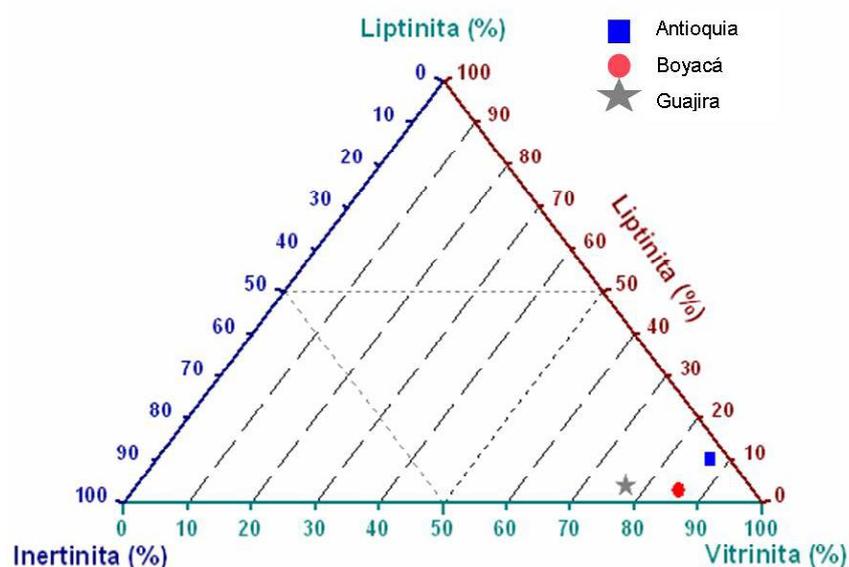


Figura 2. Diagrama ternario que muestra la distribución maceral (libre de materia mineral) de tres mantos de carbón de las zonas de Antioquia, Boyacá y Guajira.

Microlitotipos: De acuerdo a las asociaciones entre macerales y macerales y minerales en estos carbones, los microlitotipos presentes en proporciones considerables en las tres zonas son la vitrinita, la clarita V, y la vitroinertita V. (Tabla 2) (Figura 4).

3.2. Análisis de liberación

La liberación de los macerales esta condicionada por la forma de presentación de estos dentro del carbón y por las características petrográficas de cada uno de los grupos macerales.

Los macerales en el carbón se encuentran íntimamente asociados; en una matriz de naturaleza vitrinitica se encuentran agrupados o diseminados los macerales del grupo de la liptinita, de la inertinita o de ambos (Figura 3), definiendo los distintos microlitotipos.

De otro lado los macerales del carbón se caracterizan por presentar una amplia distribución de tamaños y una gran variedad de formas y texturas (Figura 3 y 4), especialmente los macerales de los grupos de la liptinita e inertinita.

El grado de liberación de los macerales va depender tanto de las características indicadas como de la reducción de tamaño alcanzada durante el proceso de molienda..

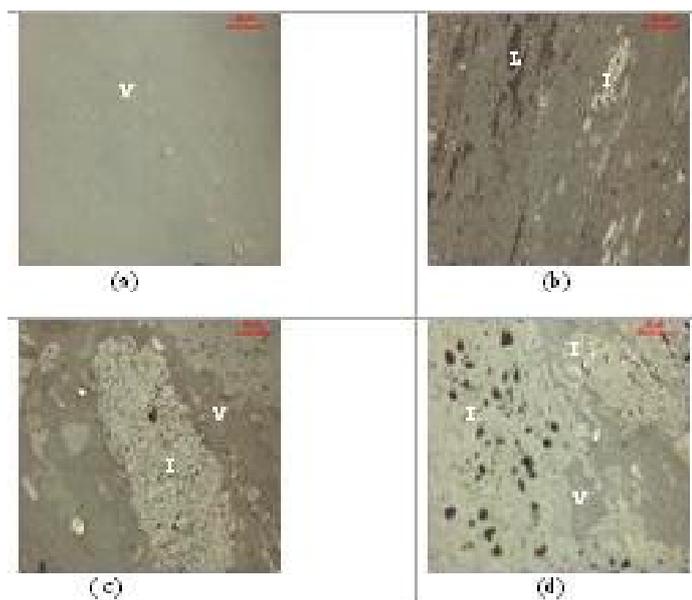


Figura 3. Fotomicrografías de macerales y microlitotipos en luz blanca reflejada: **(a)** banda homogénea de vitrinita (V) con fragmentos finos de inertinita (I); en vitrinita; muestra Boyacá y **(b)** vitrinita (V) asociada con fragmentos finos de liptinitas (L) e inertinitas (I); en trimacerita V; muestra Cerrejón; **(c)** fragmentos detríticos de inertinita, con tejidos parcialmente preservados, en una matriz de vitrinita; vitrinertita V; muestra Guajira; **(d)** tejidos de inertinita (I), de reflectancia media, con lúmenes celulares parcial o totalmente cerrados, asociados a bandas de vitrinita y fragmentos finos de este grupo; vitrinertita I; muestra Boyacá.

Como se indicó en la metodología, el porcentaje de liberados se estableció a partir del análisis microscópico bajo luz reflejada blanca de los productos de la molienda. La determinación del porcentaje de la fracción de liptinitas liberadas bajo este modo de iluminación no fue posible, porque los macerales de este grupo así como las resinas que se probaron en los montajes y en la que éstos componentes se encuentran inmersos se ven oscuras (Figura 5).

Tabla 2. Datos del análisis de microlitotipos de las muestras originales.

	Microlitotipos (% volumen)		
	Antioquia	Guajira	Boyacá
Grupo monomaceral			
Vitrinita	55,3	38,2	42,8
Liptinita	0	0	0
Inertinita	0	8,3	7,4
Grupo Bimaceral			
Clarita V (> % de vitrinita)	27,4	4,8	2,8
Clarita L (> % de liptinita)	3,1	0	0
Durita L (> % de liptinita)	0	0	0
Durita I (> % de inertinita)	0	0	0
Vitroinertita V (> % de vitrinita)	0,4	26	32,4
Vitroinertita I (> % de inertinita)	0	7,4	5,6
Grupo trimaceral			
Trimacerita V (> % de vitrinita)	10	11,6	2,6
Trimacerita L (> % de liptinita)	0,2	0	0
Trimacerita I (> % de inertinita)	0	0	0
Carbominerita	1,2	1,2	3,8
Carbopolimerita	0	0,2	0
Minerita	2,4	2,3	2,6

Por lo tanto se procedió a la estimación del número de liptinitas liberadas bajo luz fluorescente. Utilizando resina comercial en la elaboración del montaje de granos se encontró que al comparar la muestra hecha con la resina comercial en la granulometría pasante malla 18 (muestra para análisis petrográfico original) con la pasante malla 270, la proporción visual de este grupo en la muestra fue menor (Figura 4b y c), posiblemente esto se deba al carácter fluorescente de la resina que enmascara las liptinitas también fluorescentes ó dado que dicha resina tiene una densidad 1.35g/cm^3 mayor que la densidad de las liptinitas que según la bibliografía es de aproximadamente 1.2g/cm^3 , la resina actuará como un medio denso y durante el proceso de desbastado y pulido fueran eliminadas.

En la Figura 4d y 4e, se puede apreciar la intensa fluorescencia de la resina “Araldit-D” (resina de densidad 0.95g/cm^3) que enmascara los macerales liptiníticos.

Buscando solucionar el problema de la fluorescencia de la resina, se utilizó en el montaje, “eukitt”, resina no fluorescente de densidad 0.95g/cm^3 . Como puede observarse en la Figura 4f, se ven los macerales del grupo de la liptinita pero no los contornos de los granos y por tanto no se puede determinar, si las liptinitas están libres o se encuentran asociadas

Dada la dificultad para la determinación de la fracción de los macerales liptiníticos a partir del análisis microscópico, se procedió a la cuantificación del grupo por medio del siguiente balance de masa:

$$NT_x = N_x + N_{xy} * f_{xy} + N_{xz} * f_{xz} + N_{xyz} * f_{xyz} \quad (1)$$

Siendo:

NT_x : Número de especies contadas de maceral tipo x

N_x : Número total de partículas del maceral tipo x liberado

N_{xy} : Número de especies mixtas formadas por dos macerales x y y

N_{xyz} : Número de especies mixtas formadas por tres tipos de macerales

f_{xy} : Fracción volumétrica del maceral x en una partícula mixta formada por los macerales xy

f_{xyz} : Fracción volumétrica del maceral x en una partícula mixta compuesta por los tres grupos macerales

Por lo tanto el grado de liberación se puede determinar por conteo siguiendo la ecuación:

$$N_y = \frac{N_{xy} * f_{xy} + N_{yz} * f_{yz} + N_{xyz} * f_{xyz}}{N_T} \quad (2)$$

Para la determinación de una granulometría óptima para la separación, se procedió mediante petrografía y análisis de imagen a efectuar el estudio de la distribución de tamaño, de las liptinitas y las inertinitas por ser éstos los macerales que se presentan como inclusiones claramente diferenciables en la matriz vitrínica de los carbones. En la Figura 5b y 5c, se presentan las gráficas de distribución de tamaños para las liptinitas y las inertinitas respectivamente.

En general se observó que la liberación no esta acotada fuertemente a intervalos de tamaño, como suele suceder en el caso de los minerales, pues los tamaños oscilan entre 5 y 350 micras para el grupo de la liptinita; entre 5 y 504 micras para el grupo de la inertinita, Figura 5b y 5c; además, se puede observar que el mayor porcentaje se encuentra en 32 y 46 micras respectivamente.

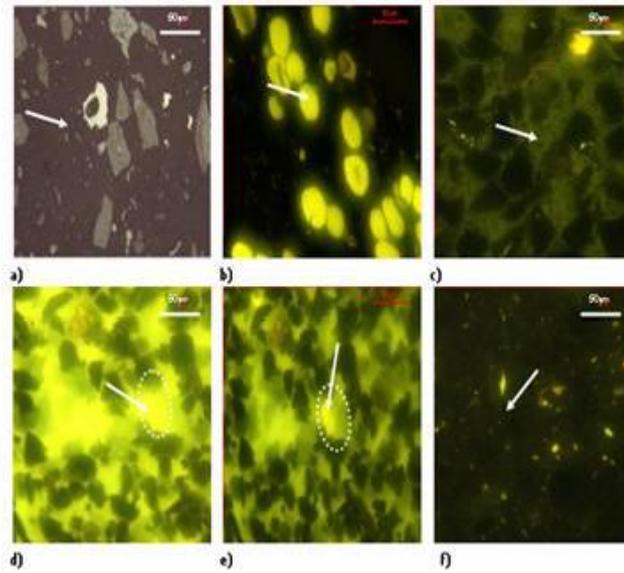


Figura 4 Fotomicrografías de granos de carbón, en luz reflejada blanca y fluorescente elaboradas empleando diferente tipo de resina: **(a) – (c)** resina comercial. **(a)** En esta imagen puede verse fragmentos de vitrinita e inertinita libres, pero no liptinitas; **(b)** muestra original, malla 18; **(c)** muestra pasante malla 270; **(d)** y **(e)** montaje en resina Araldit-D, bajo condiciones de iluminación diferentes en la captura de la imagen, en éstas se observa que su fuerte fluorescencia enmascara algunos granos de liptinita y **(d)** Eukitt, resina no fluorescente la cual no permite diferenciar los límites de grano.

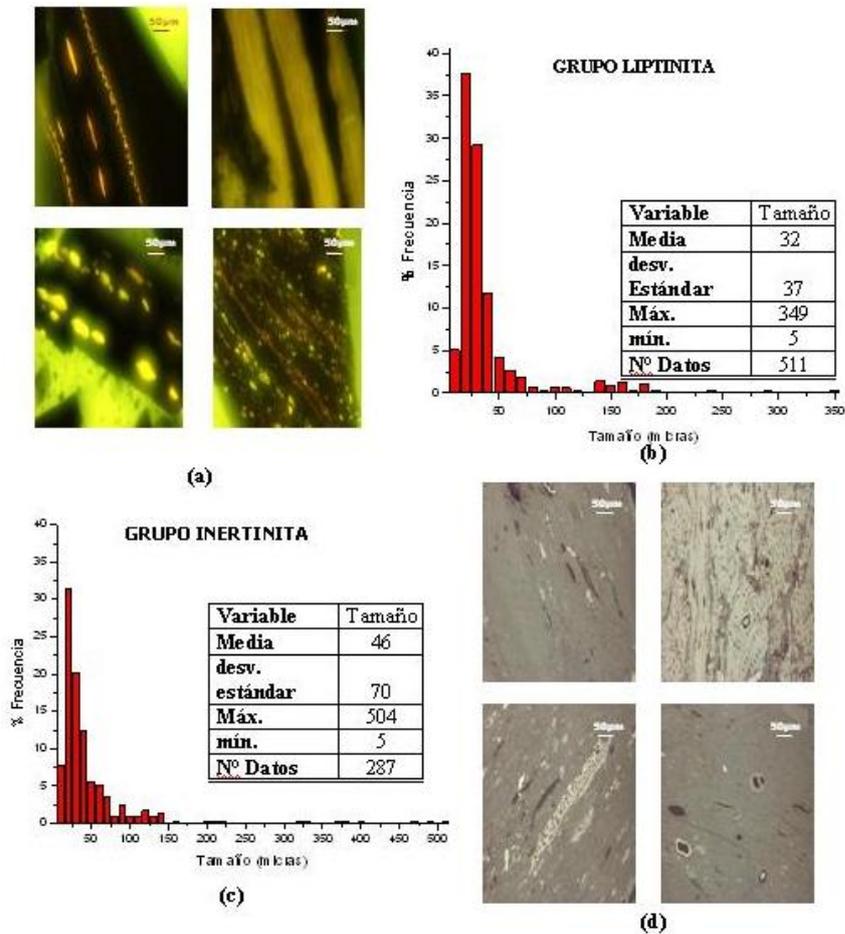


Figura 5. **(a)** y **(d)** Fotomicrografías de grupos de macerales, en luz reflejada y fluorescente, en estas imágenes se puede apreciar la gran variedad en los tamaños de los macerales de cada grupo y su diferente textura; **(b)** y **(c)** Distribución de tamaño de grano de los macerales de los grupos de liptinita e inertinita

Los resultados obtenidos del análisis petrográfico efectuado a las muestras correspondientes a las distintas granulometrías obtenidas por trituración se muestran en las Figuras 6 a 9

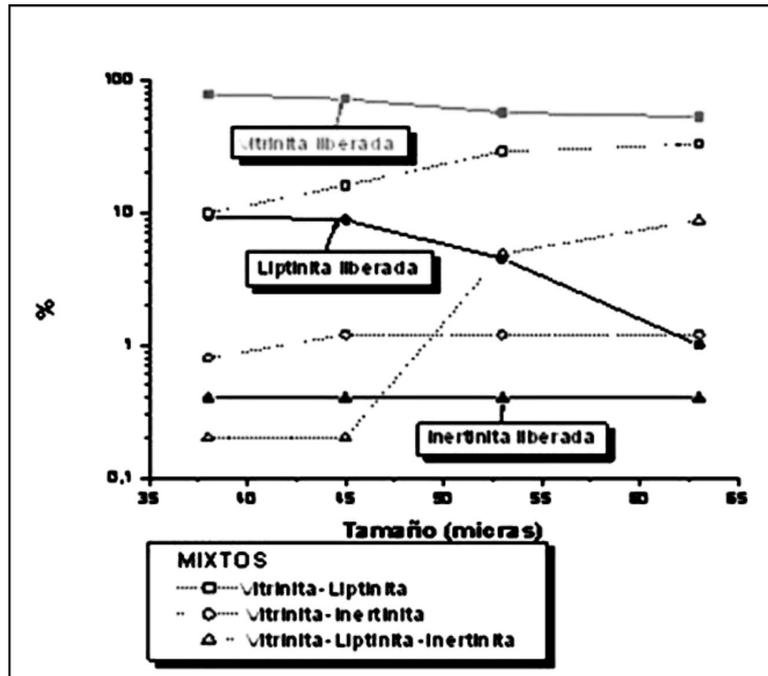


Figura 6 Cantidad de componentes libres en función del tamaño de partícula para cada grupo maceral presente en un manto de la zona de Antioquia

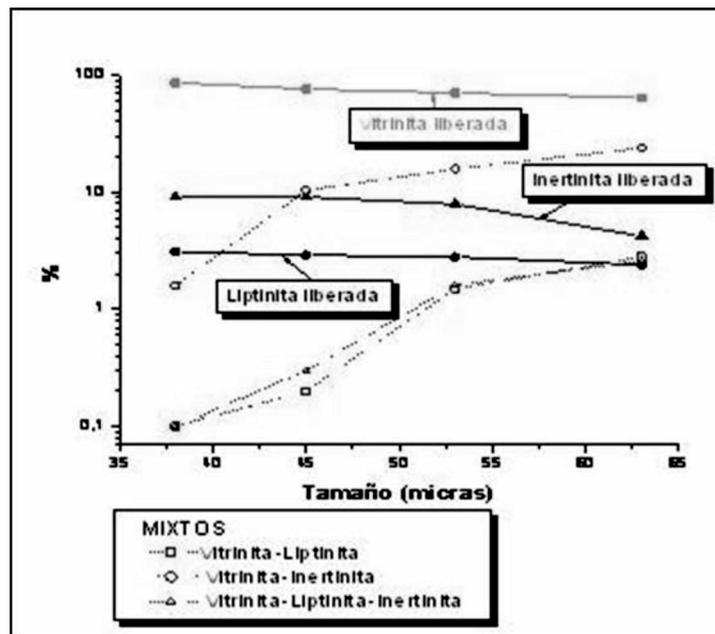


Figura 7 Cantidad de componentes libres en función del tamaño de partícula para cada grupo maceral presente en un manto de la zona de Boyacá

La liberación de los macerales del carbón muestra un comportamiento similar al de la liberación mineral, en el sentido de que se produce un incremento en la liberación de los componentes a medida en que reduce el tamaño (Figuras 6 a 9).

El grupo maceral liberado en mayor proporción es la vitrinita (Figuras 5, 6 y 7), esto se debe a su carácter mayoritario en los carbones estudiados, también a que son de mayor tamaño y a su menor variedad en cuanto a textura.

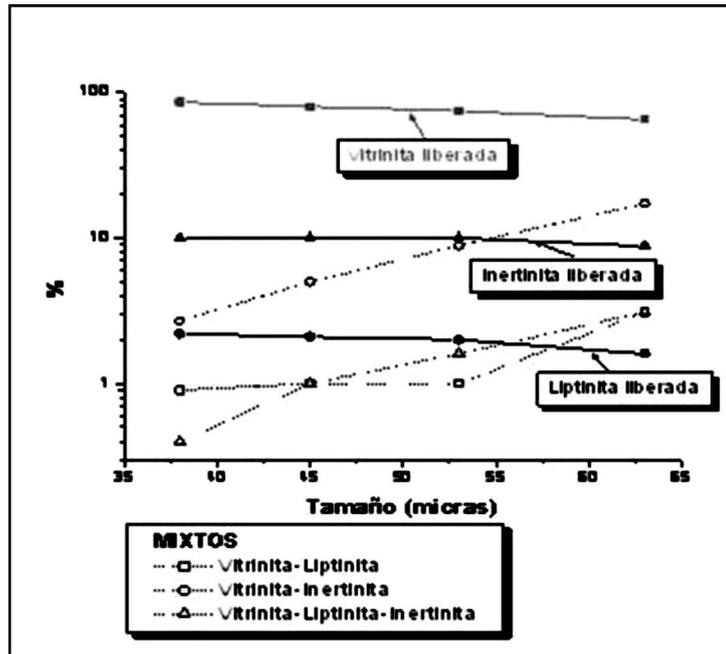


Figura 8 Cantidad de componentes libres en función del tamaño de partícula para cada grupo maceral presente en un manto de la zona de Guajira

El grupo de la liptinita aumenta débilmente su liberación con la reducción del tamaño y solo alcanza un 11 % a 38 micras en la zona de Antioquia (Figura 6), este grupo maceral presenta una distribución muy amplia de tamaños y formas; en la zona de Antioquia se aprecia una marcada asociación de este grupo con el grupo de la vitrinita (dominio del bimaceral clarita V).

El grupo de la inertinita en la zona de Antioquia, no varía durante la reducción de tamaño, lo cual se debe a que en este carbón el porcentaje de este grupo maceral es inferior al 4% y los tamaños de granos no superan las 10 micras.

En las zonas de Boyacá y Guajira (Figura 7 y 8) se observa la misma tendencia, una mayor liberación del grupo de la vitrinita; mientras la liptinita no presenta cambios significativos; esto se debe, igualmente a que este grupo maceral está en una proporción inferior al 3 %.

La Figura 9 muestra las curvas de liberación generada para los tres grupos de macerales del carbón de las tres zonas estudiadas.

Los resultados muestran que la vitrinita alcanza el mismo grado de liberación a 38 micras, para las tres zonas, los demás grupos presentan variación y ésta depende fuertemente de las diferentes proporciones de cada uno de los grupos en el carbón. El mayor grado de liberación del grupo de la liptinita se obtuvo en la zona de Antioquia, para las demás regiones el porcentaje liberado no fue significativo; el porcentaje de liberados del grupo de la inertinita fue mayor en las zonas de Boyacá y Guajira, que se caracterizan por presentar una mayor proporción de estos componentes.

El grado de liberación de los grupos macerales liptinita e inertinita es muy pobre ya que su textura y forma de presentación (generalmente dentro de la matriz vitrinitica) hace muy difícil su liberación, a no ser que se reduzca a tamaños inferiores a su granulometría original.

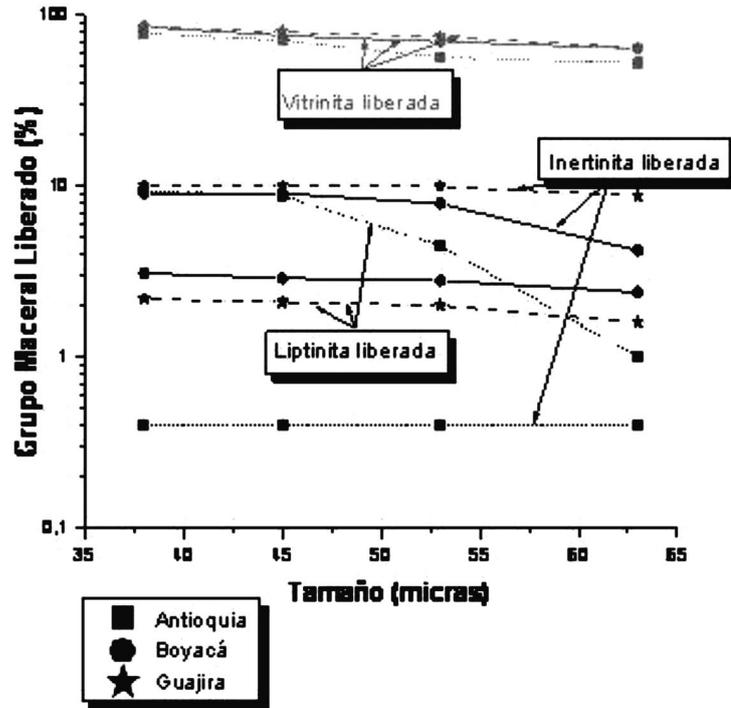


Figura 9 Comparación de la cantidad de componentes libres en función del tamaño de partícula para cada grupo maceral presente en las zonas de Antioquia, Boyacá y Guajira

4. CONCLUSIONES

El análisis de liberación maceral efectuado a las muestras de carbón provenientes de las Zonas Carboníferas de Antioquia, La Guajira y Boyacá, indica que la amplia variación de formas y tamaños que presentan los distintos grupos macerales, así como la estrecha asociación en la que estos se presentan juegan un papel determinante en la generación de granos libres, para obtener liberación significativa de los componentes se requeriría llevar los carbones a una granulometría muy fina (menor a 10 micras)

Los grupos de macerales presentan el mismo comportamiento de los minerales durante la reducción de tamaño, el número de componentes libres incrementa.

El grupo maceral que presenta mayor probabilidad de encontrarse libre es la vitrinita, ya que es el grupo maceral que está en mayor proporción, esto se evidencia en el dominio del microlitotipo vitrita en las distintas muestras; el segundo grupo es la inertinita especialmente en los carbones de las zonas carboníferas de Boyacá y la Guajira, donde éste predomina sobre la liptinita, aunque presenta una amplia variación en tamaños, su forma de presentación (tejidos de gran tamaño) permite que se libere más fácilmente. La liptinita se caracterizó por encontrarse muy asociada a la vitrinita en la zona de Antioquia.

En un rango de tamaño entre 50 y 40 micras se encontró que el proceso de liberación diferencial entre los diferentes macerales es importante

El porcentaje de los componentes juega un papel determinante en su liberación, siempre la probabilidad de encontrar un componente libre está determinada fuertemente por la cantidad de él en la muestra analizada.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento por la colaboración prestada para la realización del proyecto a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional DIME al Laboratorio de Carbones y al Centro de Metalurgia Extractiva CIMEX.

BIBLIOGRAFIA

ASTM. 2000. Normas para carbón y coque.

Bustin, R.M ,et al. 1983. Coal Petrology its principles, Methods and Aplications. Short Courses Notes Geol. Assoc. Can. No. 3.

ICCP 1994. The new vitrinite classification. Fuel 77, No. 5, pp. 349-358

ICCP 2001. The new inertinite classification. Fuel 80 pp. 459-471

Gómez, O.P. 2005. Separación de los Grupos Macerales del Carbón mediante el uso de Flotación en Columna. Tesis. Universidad Nacional. Facultad de Minas. Posgrado en Ingeniería de materiales y Procesos, 90 P.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). 2004. El Carbón Colombiano: Recursos, Reservas y Calidad. República de Colombia Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.

Stach, E., et al. 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology, 3 Ed., Gebruder Borntraeger, Berlín. 335 P.

Taylor, G., et al., 1998. Organic Petrology, Gebruder Borntraeger, Berlín:

Yepes, L. M. y Velásquez C. M. 1988. Desarrollo de un Modelo de Liberación Mineral. Medellín. Tesis. Universidad Nacional. Facultad de Minas. Ingeniería de Minas y Metalurgia. 210 P.

