

ESTUDIO DE LA FLUORESCENCIA DE MANTOS DE CARBÓN DE LA CUENCA DE AMAGÁ, USANDO EL ÍNDICE G/R, ANÁLISIS DE IMAGEN Y PIRÓLISIS ROCK-EVAL

Alejandro Restrepo M.¹, Astrid Blandón M.² y Fredy Arango A.³

1. Doctorado en ingeniería, Laboratorio de Carbonos, 2. Profesora de Escuela de Materiales, 3. Posgrado en Ingeniería de Materiales y Procesos

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín

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

Recibido para evaluación: 05 de Septiembre de 2005 / Aceptación: 13 de Mayo de 2006 / Recibida versión final: 1 de Junio de 2006

RESUMEN

En este trabajo se analiza la fluorescencia de las liptinitas utilizando análisis de imagen y comparando los resultados con el potencial de generación. Las muestras fueron tomadas de las asociaciones de litotipos (Plies Thomas 2002) de mantos de carbón de la cuenca de Amagá, de las cuales se efectuaron secciones pulidas y preparaciones para el estudio de palynofacies; estas últimas se obtuvieron mediante el empleo del método Shulze modificado. Tanto las secciones pulidas como las preparaciones de palynofacies, se observaron microscópicamente en luz reflejada fluorescente.

Se aplicó el análisis de imagen con la finalidad de mejorar la observación de los componentes fluorescentes, cuantificar el comportamiento de la fluorescencia y elaborar gráficas que presenten los resultados de la intensidad de fluorescencia de una manera adecuada para facilitar el análisis. De otro lado, se midió el índice Verde/Rojo (conocido como el índice G/R por sus siglas en inglés) para describir el color de fluorescencia. Los anteriores resultados se contrastaron con el índice de hidrógeno (IH) obtenido del análisis de los plies utilizando pirólisis Rock-Eval. Se encontró que: El índice V/R permitió discernir acerca del color de fluorescencia de cada uno de los plies (Thomas 2002) que conforman los mantos y a su vez de la relación con el índice de hidrógeno, lo cual permite establecer que al parecer el Manto 1 de la Mina el Bloque está invertido, y que las muestras 1 y 5 de este mismo manto tienen las mejores posibilidades de generación de hidrocarburos debido a que sus índices de hidrógeno así lo indican (423 y 298 respectivamente). En el Manto 1 de la Mina Nechi, las muestras 10 y 11 son las que tienen posibilidades de generación, ya que tienen índices de hidrógeno de 331 y 386 respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Carbón, Fluorescencia, Análisis de Imagen, Índice V/R, Índice de Hidrógeno, Liptinitas, Formación Amagá. Propiedades Físico-Químicas.

ABSTRACT

In this work the fluorescence of the liptinites is analyzed using image analysis and comparing the results with the potential for hydrocarbon generation. The samples were taken from the associations of lithotypes (Plies, Thomas 2002) of coal seams of the Amaga Basin, of which polished sections and preparations for the study of palynofacies obtained by means of the use of modified the Shulze method took place. They were observed microscopically in reflected fluorescent light. The image analysis was applied with the purpose of improving the observation of the fluorescent components to quantify the behaviour of the fluorescence and to elaborate graphical that display the results of the intensity of fluorescence of an adapted way to facilitate the analysis. Of another side, index G/R was made to describe the fluorescence color. The previous results were compared with the hydrogen index (IH) obtained by the pyrolysis Rock-Eval.

It was found that Index G/R allowed to discern about the color of fluorescence of the coal seams and their relation with the hydrogen index, which allows to establish that the coal seam 1 of the El Bloque Mine this overturned one, and that samples 1 and 5 of this same seam have the best potential for hydrocarbon generation because their hydrogen index indicates it (423 and 298 respectively). In coal seam 1 of the Nechi Mine, samples 10 and 11 are those that have potential for hydrocarbon generation, (331 and 386 respectively).

KEY WORDS: Coal, Fluorescence, Image Analysis, Liptinites, Formation Amagá, Physicochemical Properties.

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades fluorescentes de macerales del carbón y kerógenos se usan ampliamente para determinar el grado de carbonificación, evaluar la madurez térmica de las rocas fuentes de petróleo y predecir propiedades tecnológicas del carbón (Ottenjahn et al., 1975; Alpern, 1976; Teichmuller y Wolf, 1979). Con la intensidad de la fluorescencia en las rocas fuentes se visualiza el estado de preservación de la materia orgánica y el kerógeno rico en hidrógeno (Robert 1980; Tyson 1990). En la actualidad, existen varios métodos para medir la intensidad de la fluorescencia, (cuantitativos y cualitativos), pero ninguno de éstos ha sido estandarizado globalmente para reportar medidas absolutas, y únicamente se pueden obtener medidas de intensidades relativas (Taylor et al., 1998). Robert 1988 (en Taylor et al., 1998) ha descrito un método visual para evaluar la intensidad de fluorescencia de toda la materia orgánica mediante un índice de fluorescencia global. El principal parámetro espectral para medir la intensidad de la fluorescencia en la materia orgánica, es la relación rojo/verde, que es en esencia una medida de las proporciones relativas de estructuras polimerizadas presentes en la roca.

$$\text{Relación espectral } Q = \frac{\text{Intensidad relativa a } 650 \text{ nm}}{\text{Intensidad relativa a } 500\text{nm}}$$

Estudios previos han mostrado que la microscopía asistida por computador y específicamente el análisis de imagen es una herramienta para la cuantificación de la intensidad de la fluorescencia en la materia orgánica (Arango et al., 2004) en este artículo se propone un índice Verde/Rojo ya que se encontró experimentalmente que se ajustaba mejor al comportamiento del índice de hidrógeno con el que se contrastaron las medidas de fluorescencia. Entre otras aplicaciones del análisis de imagen al estudio de la materia orgánica en microscopía se encuentran: caracterización automática de la materia orgánica (Lorente, 1990); caracterización automática del tipo de kerógeno para determinar el potencial probable de generación de hidrocarburos de una roca fuente (Tyson, 1990); medición del color y niveles de gris de los macerales en petrología orgánica (David and Fermont, 1993; Cloke et al., 1995; Arango, et. al., 2004); técnicas de análisis de imagen para análisis petrográfico (Higthon et al., 1991; Lester et al., 1993; Lester et al., 2002;; Restrepo, 2003; Arango et al., 2003; Arango et al., 2004; Blandón y Restrepo 2002 propusieron el método ALPS (Asociación de liptinitas principales y secundarias) como una estrategia para analizar los datos de macerales liptiniticos obtenidos por conteo semiautomático de puntos; Restrepo y Blandón, 2002, plantearon una estrategia de segmentación para los macerales liptiniticos). En Yule et al., 1998 se encuentra un procedimiento para cuantificar los cambios del color en esporas usando análisis de imágenes.

De otro lado, para analizar los colores de fluorescencia, los canales más importantes son el rojo y el verde, (Arango et al 2004). La combinación de esos dos genera los colores de las partículas. Esos se estudian utilizando el índice Verde/Rojo (V/R). El pardo significa que este tiene más componentes rojos y el amarillo representa la misma cantidad de intensidad en el rojo y verde. Se debe decir que las imágenes a color se conforman de tres canales: rojo, verde y azul (RVA) y con la combinación de estos se generan todos los colores.

Por último un concepto que se usará en el artículo más adelante es el de segmentación, el cual se puede entender como una etapa del análisis de imagen, en donde una imagen a color se convierte en una imagen binaria que sólo tiene puntos blancos y negros, en donde se encuentran agrupados los píxeles por características semejantes previamente definidas.

2. METODOS

2.1. Descripción y preparación de la muestra

Las muestras fueron tomadas del manto 1 de las minas Nechi y el Bloque de cada una de las asociaciones de litotipos (plies, Thomas 2002), del carbón y de las lutitas asociadas, Figura 1. Los carbones estudiados son de bajo rango (sub-bituminosos), con alto contenido de vitrinita, alto a medio de liptinitas y muy bajo de inertinitas. El total de muestras

analizadas corresponden a 12 para el manto 1 El Bloque y 11 para M1 Nechi, sin embargo en las gráficas aparecen 8 para M1 el Bloque, ya que para las muestras 4, 7 y 8 no se tienen las imágenes de los pulidos. Los conjuntos de litotipos presentes hallados fueron dureno con lentes o bandas de vitreno de diferentes tamaños y proporciones. Además en los mantos hay lutitas y lutitas carbonosas, tanto en el techo y base de los mantos y también interestratificadas (ply 4 para el manto 1 el Bloque y ply 11 para manto 1 Nechi), ver Figura 1.

La preparación de las palinofacies se llevó a cabo de acuerdo con el método de Shulze modificado, Blandón et al., 2003. El conteo de macerales se realizó sobre 500 puntos de acuerdo a la norma ISO 7404, en secciones pulidas bajo luz reflejada normal y fluorescente

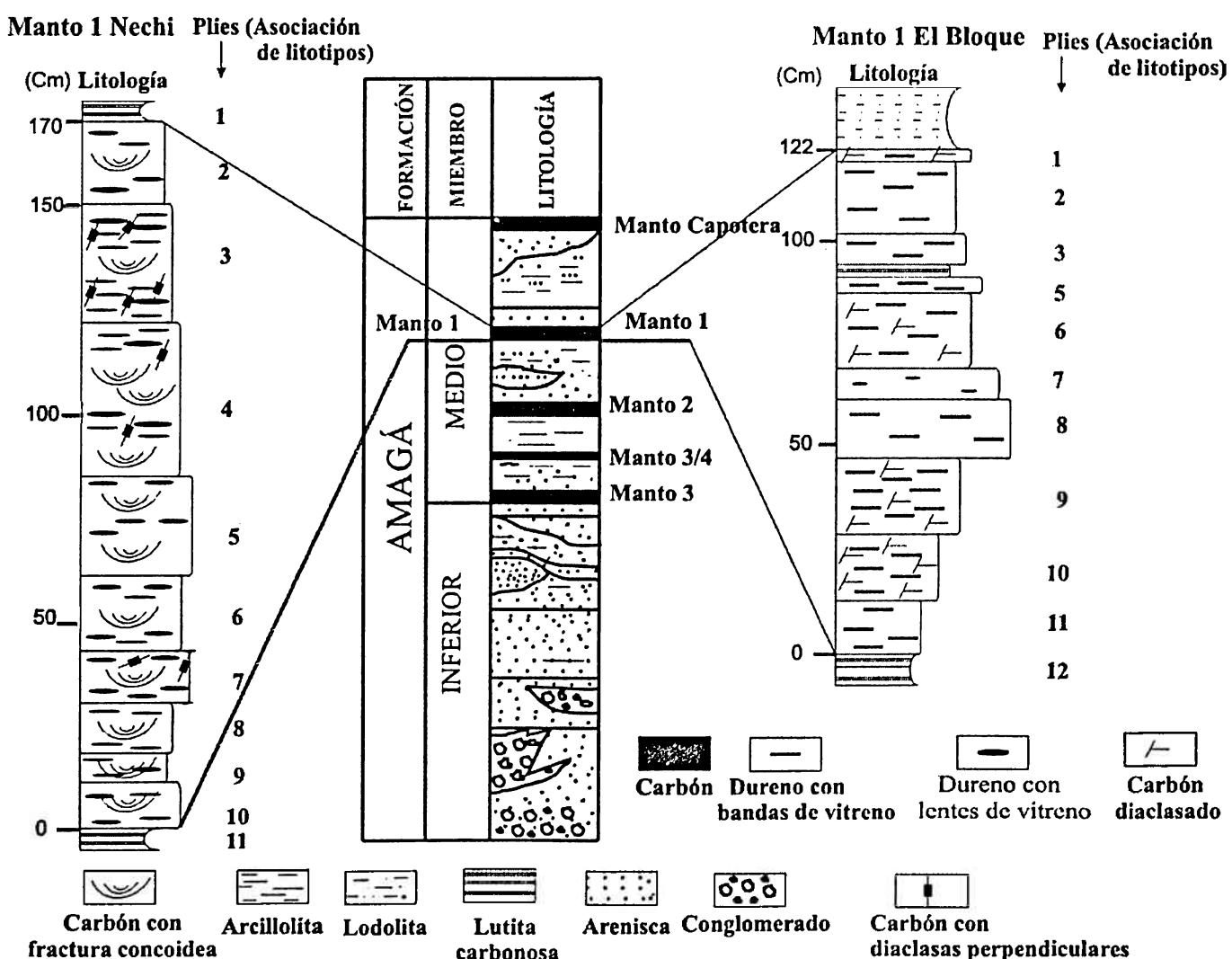


Figura 1.
Plies del manto 1 de las minas Nechi y el Bloque.

2.2. Análisis de imagen

La metodología llevada a cabo para el procesamiento de las imágenes se desarrolló en tres etapas: La primera etapa se realiza en imágenes de secciones pulidas observadas en fluorescencia. Esta cuenta con tres pasos: El paso A (Figura 2) se apoya en el trabajo de Restrepo et. al. 2002, para realizar la segmentación, sin embargo, se encontró que algunas liptinitas de colores naranjados no se identificaban bien, para lo cual se diseñó un paso B (Figura 3) en donde se segmenta específicamente este color definiendo unos umbrales para cada canal de color y luego de esto, el experto utilizando el conteo manual de puntos identifica las liptinitas. Por último, el paso C (Figura 3) consiste en presentar los resultados; para esto, las imágenes que contienen los puntos clasificados se combinaron con las imágenes segmentadas y las imágenes a color de donde se midió el color de fluorescencia de la muestra tanto de manera total como específica por tipos de liptinitas y además, se presenta la fracción volumétrica obtenida para cada maceral.

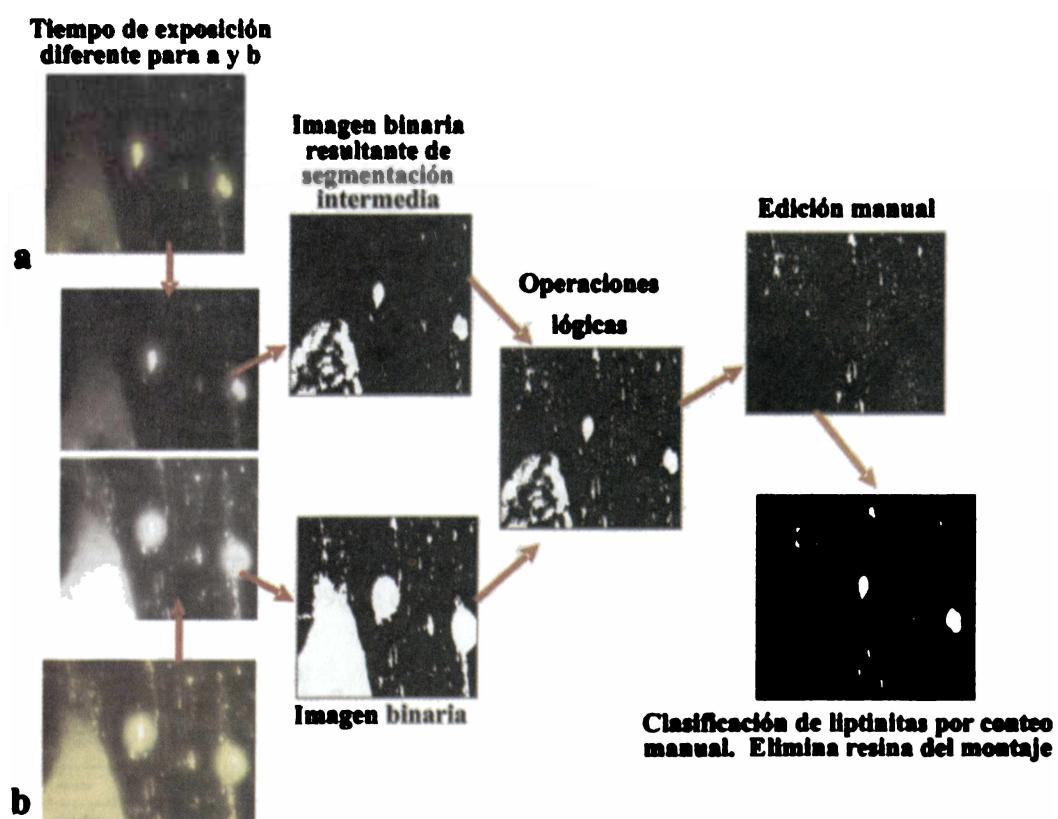
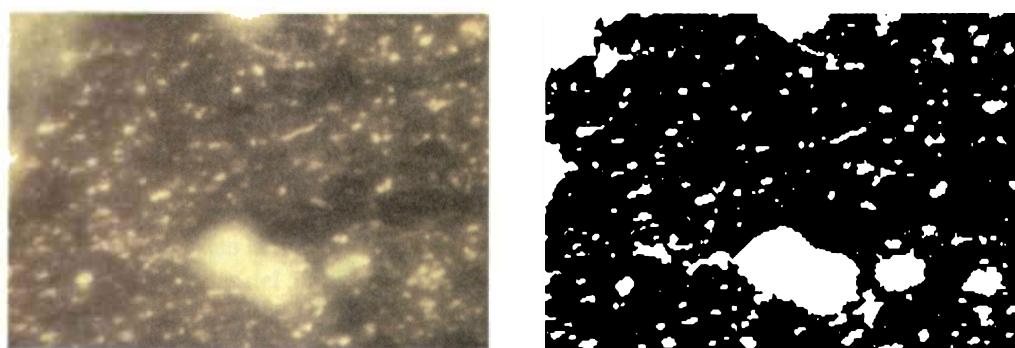


Figura 2.
Paso A de la etapa 1 de análisis de imagen.

La etapa 2 (Figura 4) consistió en analizar la fluorescencia de cada uno de los plies en el manto 1 Nechi, pero para este proceso sólo se utilizó un tiempo de exposición. En esta imagen a color, se aplicó una segmentación OTSU (Escalera 2001), con la cual se midió la fracción volumétrica y los colores promedio de fluorescencia para cada nivel analizado.

En el proceso 3 (Figura 5) se analizaron muestras de palinofacies observadas en fluorescencia y en las imágenes capturadas se realizó una segmentación OTSU (Escalera 2001), con la cual se midió la fracción volumétrica y el color promedio de fluorescencia medido sobre la imagen a color.



Encuentra liptinitas fluorescentes de color naranja (bituminita, cutinitas, exsudatinitas, MO+MM), se elimina la resina y se clasifica por conteo puntos

Figura 3.
Paso B del proceso 1 de análisis de imagen.

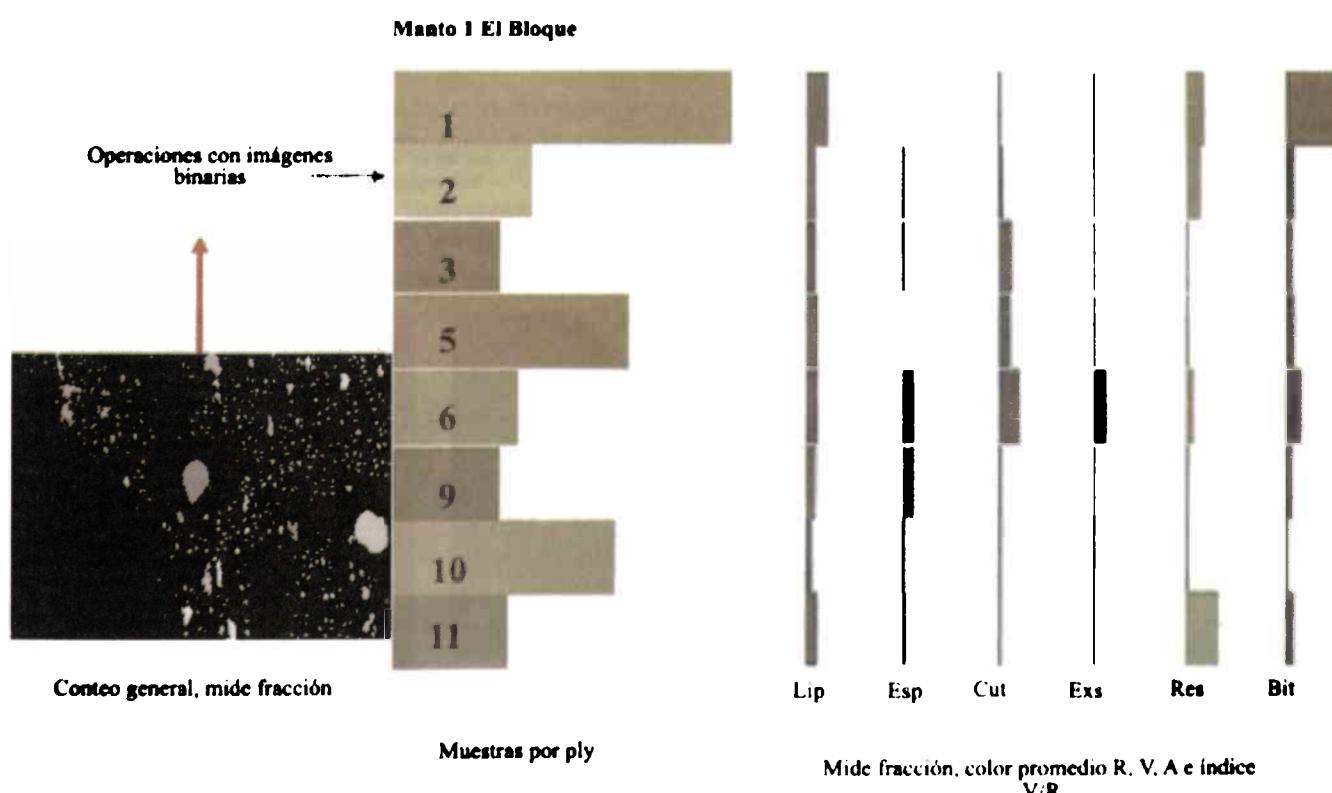
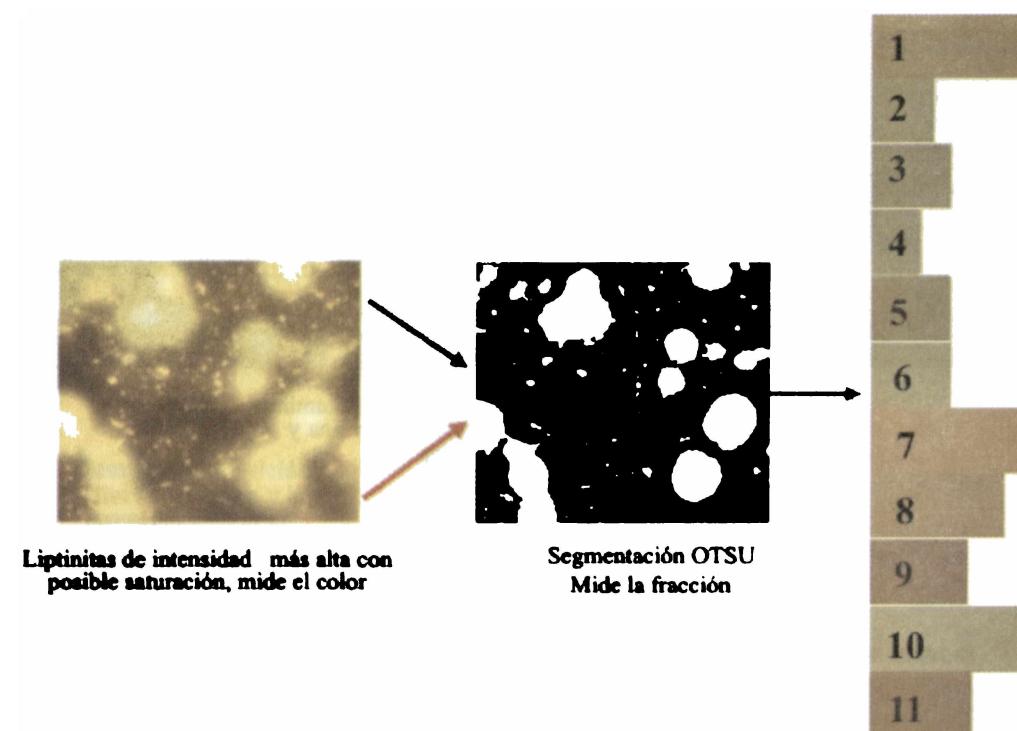
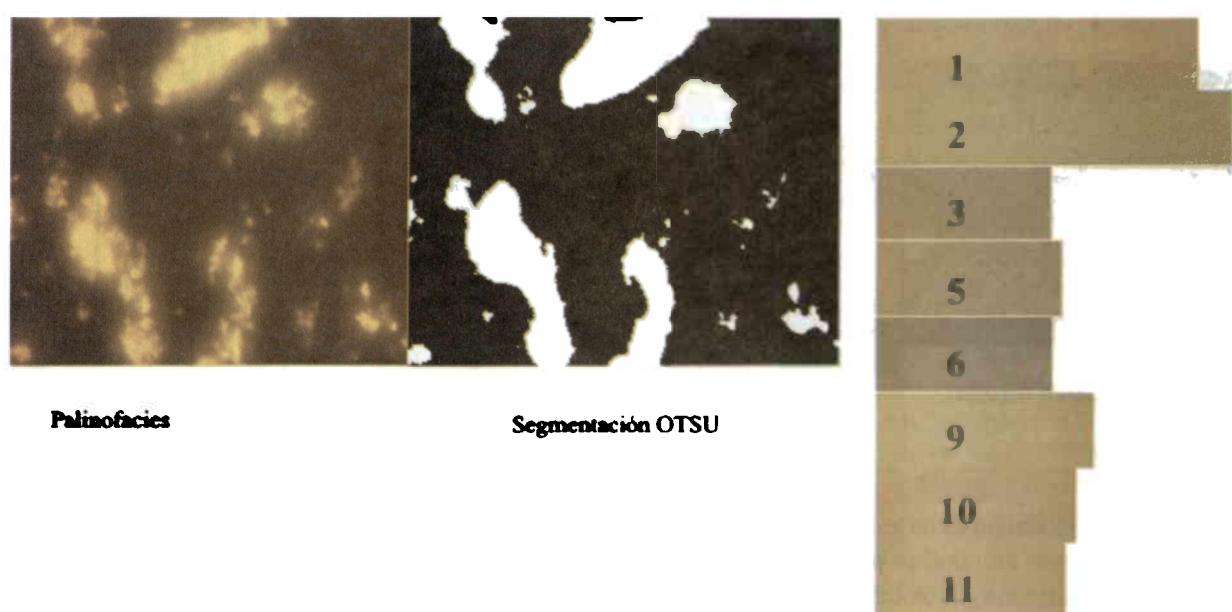


Figura 4.
Paso C resultados del proceso 1 (Figuras anteriores).



Color promedio, Fracción Volumétrica, Índice V/R

Figura 5.
Etapa 2 del procesamiento digital de imágenes.



Color promedio
Fracción volumétrica no es significativa
Índice V/R

Figura 6.
Etapa 3 del tratamiento digital de imágenes.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Petrografía

Con base en el conteo manual de los macerales, en general el contenido de liptinitas en la mayoría de los plies del Manto 1 de la mina El Bloque es superior al 25%, entendiendo como ply la asociación de litotipos diferenciables (Thomas 2002) a simple vista, destacándose la muestra del ply 1 que presenta un porcentaje del 55%. Las liptinitas principales corresponden a liptodetrinitas, más del 5% en la mayoría de las muestras; esporinitas más del 5% en todas las muestras y cutinitas más del 3% en todas las muestras y dentro de las secundarias predominan la resinitas (oil), la cual aparece en casi todas las muestras; la bituminita, que caracteriza las muestras 1, 4, 5 y 9 y los rosarios que aparecen principalmente en las muestras 6, 7, 8 y 10.

En el M1 de la mina Nechi el contenido de liptinitas en todas las muestras está por encima del 25%, destacándose la muestra 10 que tiene un porcentaje del 52%. Los macerales principales son los rasarios las liptodetrinitas y esporinitas y dentro de los secundarios, se tiene la cutinita, resinita (oil) y bituminita, destacándose la muestra 2 y 10 con los más altos porcentajes. Al comparar los dos mantos El Bloque y Nechi se encuentra que presentan contenidos de liptinitas totales muy similares, pero las muestras que presentan los más altos contenidos de liptinitas están en la parte superior del manto 1 el Bloque (ply 1) y en la parte inferior de M1 Nechi (ply 10). De otro lado los plies aunque aparentemente son los mismos no están en la misma posición, además al parecer el M1 El Bloque presenta mayor deformación que M1 Nechí.

Por lo anterior, es importante verificar estructuralmente que pasa con el M1 de las minas Nechi y el Bloque, que pueda explicar la inversión en el comportamiento de las muestras.

3.2. Comparación del color de fluorescencia y su fracción volumétrica por mantos.

Los resultados del conteo a partir de las imágenes, se pueden observar en la Figura. 6; aquí, cada caja representa un ply, el largo es la fracción volumétrica promedio encontrada al analizar entre 20 imágenes en palinofacies y 50 imágenes en las secciones pulidas.

El color representa el promedio de la fluorescencia de las imágenes. Para las palinofacies el porcentaje de componentes lo que indica es que tan aglomeradas o no están las partículas en las muestras analizadas y por lo tanto no corresponde a una fracción volumétrica.

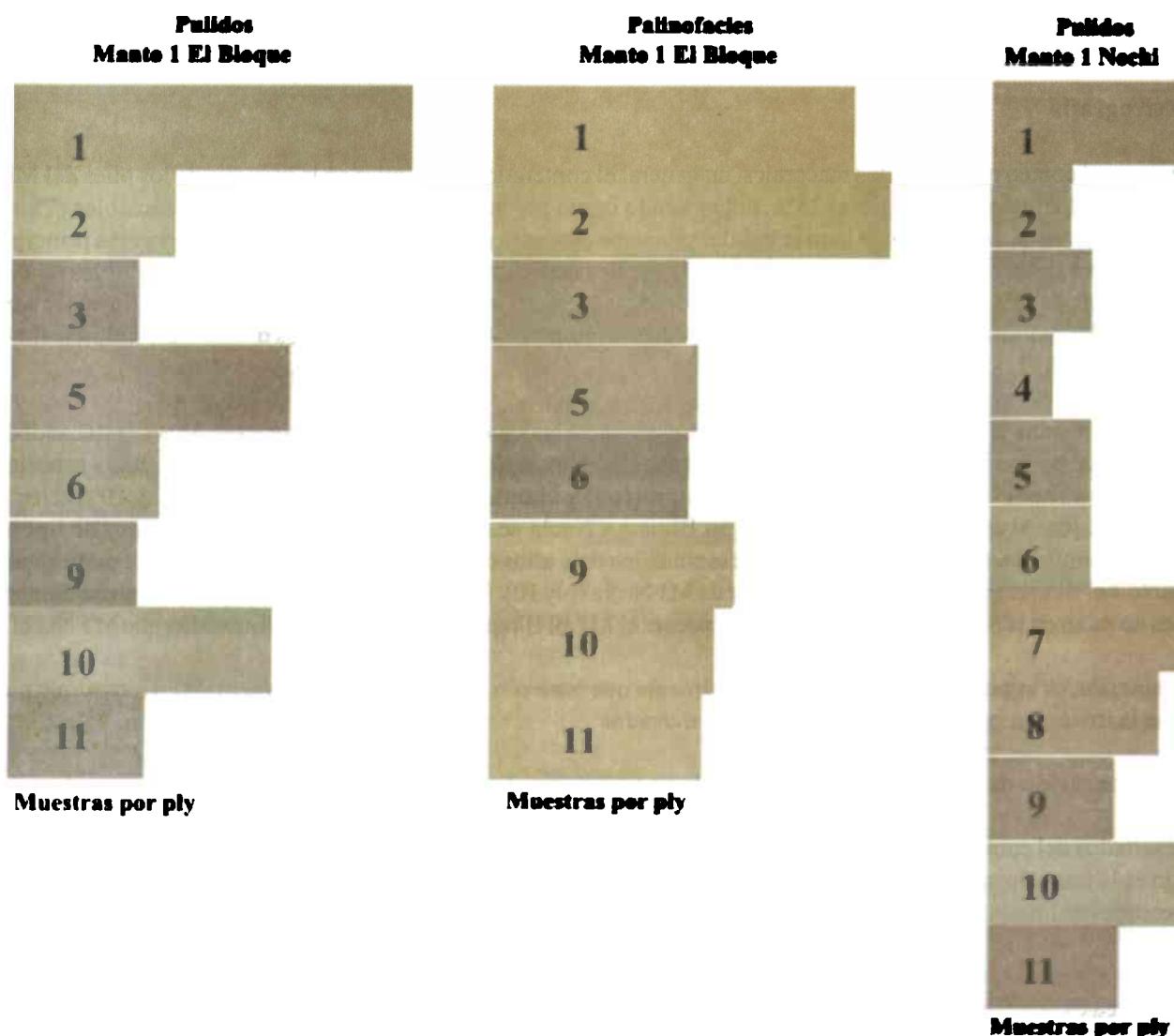
En la (Figura 7) se puede observar los promedios de todos los macerales liptiníticos de cada nivel.

3.3. Fluorescencia producida por los macerales del grupo de las liptinitas.

En la Figura 8 cada grupo de cajas horizontales representa el ply. Cada columna corresponde a los resultados medidos para cada clase analizada así por ejemplo: Liptodetrinitas, esporinitas, cutinitas, exsudatinitas, resinitas (oil), y bituminitas, y el largo de la caja representa el porcentaje. De la Figura anterior se puede deducir que las liptinitas principales son liptodetrinitas, bituminitas y (resinitas oil) y dependiendo del nivel, cutinitas (niveles 3, 5 y 6) y/o esporinitas (niveles 1, 6 y 9).

Las más fluorescentes son las (resinitas oil) y esporinitas, mientras que los niveles verdosos y pardos corresponden a las liptodetrinitas. Las cutinitas normalmente son de color pardo rojizo y las bituminitas de color pardo oscuro. Todo lo anterior es coherente con la petrografía manual.

De todo el manto, el ply con características diferentes es el 5, ya que tiene una distribución homogénea o sea que los diferentes macerales liptiniticos aparecen en porcentajes más o menos similares.

**Figura 7.**

Colores de fluorescencia, y fracción volumétrica de los macerales liptiníticos tanto de pulidos como de palinofacies de M1 el Bloque y pulidos de M1 Nechi.

3.4. Resultados del índice V/R de pulidos vs. palinofacies

En la Figura 9 no hay similitud, esto se comprueba en las tendencias de los resultados del conteo de macerales liptiniticos en las secciones pulidas en los plies más profundos del Manto 1 de la mina el Bloque (plies 10 y 11), en los cuales la fluorescencia tiende al color verde, mientras que en las palinofacies no se observan cambios importantes ya que fluorescen más homogéneamente, pero aquí hay que resaltar que en el proceso de preparación de las muestras para palynofacies, se extraen los ácidos húmicos y el bitumen que tiene la muestra, por lo cual no se podría comparar la fluorescencia obtenida de las secciones pulidas y la de las palinofacies. Por lo anterior, se nota una diferencia más marcada en los resultados de la fluorescencia que presentan las imágenes tomadas en las secciones pulidas, ya que estas representan la muestra original.

Las imágenes de los pulidos son menos fluorescentes y presentan colores más verdosos que las imágenes de las palinofacies, lo cual sugiere que se podría deber a que los ácidos húmicos no permiten tener en cuenta la fluorescencia de la vitrinita

en los pulidos; sin embargo, como en las palinofacies desaparecen los ácidos húmicos, y el bitumen, las vitrinitas se pueden ver limpias con una fluorescencia más real y por lo tanto influencian la cantidad y el color de las imágenes tomadas.

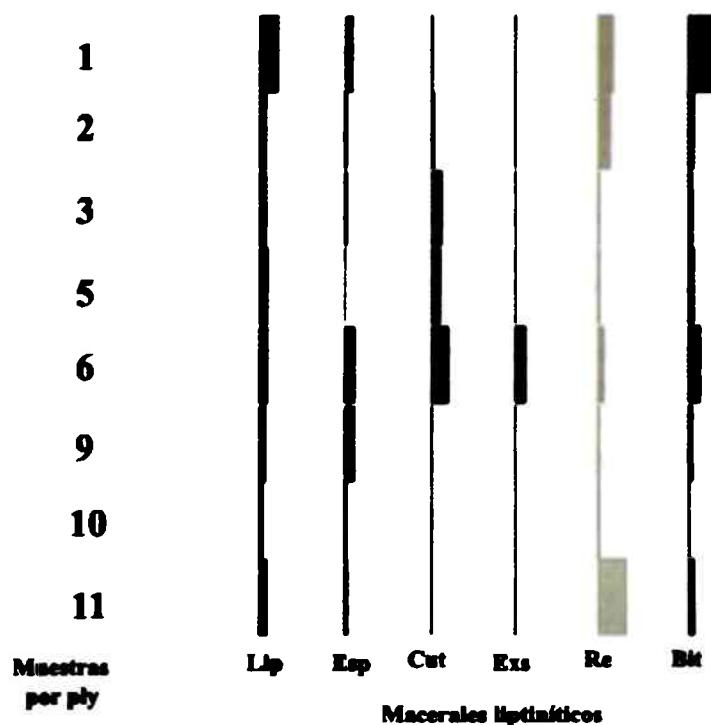


Figura 8.
Macerales liptiniticos para cada ply del Manto 1 de la Mina El Bloque.

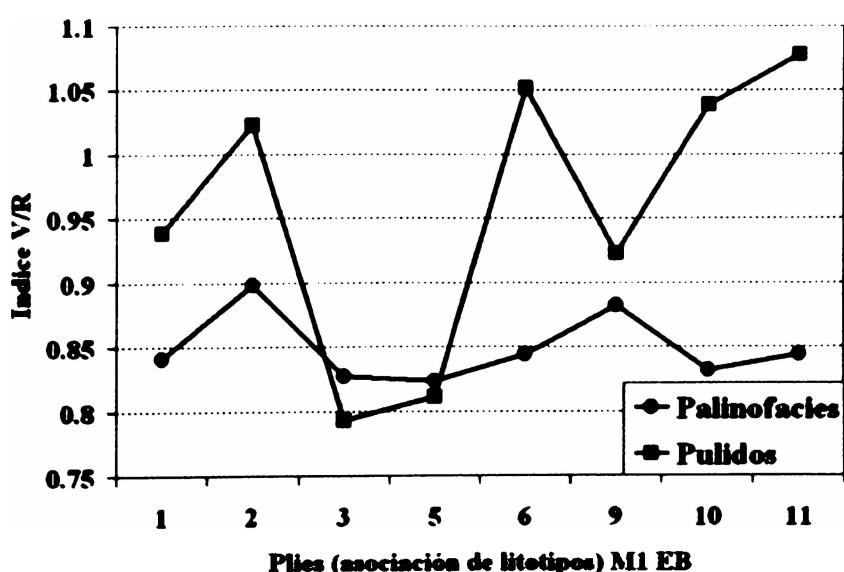


Figura 9.
Indice V/R para pulidos y palinofacies de las muestras de los diferentes plies de M1 El Bloque.

3.5. Resultados del índice V/R vs. Índice de hidrógeno

En la Figura 10, con relación a la forma hay cierto grado de similitud, pero, puntos como los niveles 1, 5 y 6 presentan problemas al relacionar la fluorescencia con el índice de hidrógeno. Esto se podría explicar por las siguientes razones:

- El nivel 1 presenta valores altos en bituminita. El nivel 5 tiene un color más anaranjado debido a la presencia de liptodetrinita, cutinitas y bituminita.
- En el nivel 6 aunque tiene esporinitas no es clara la diferencia entre los colores de fluorescencia y el índice de hidrógeno.

Las líneas de tendencia indican que a medida que se profundiza en el manto 1 de la Mina El Bloque, (plies 1-12), la relación V/R es mayor, lo cual indica que predomina el color de fluorescencia verde; de otro lado, el índice de hidrógeno dismuye a medida que el color de fluorescencia se vuelve verde.

En condiciones normales de maduración de la materia orgánica, a medida que se profundiza en la columna estratigráfica (en este caso un manto de carbón), el color de fluorescencia debería cambiar de verde a amarillo y en el caso de M1 El Bloque esto es inverso, ver (Figura 10), lo cual implicaría la inversión del manto. Lo anterior necesita verificarse con datos de campo relacionados con el resto de la columna estratigráfica

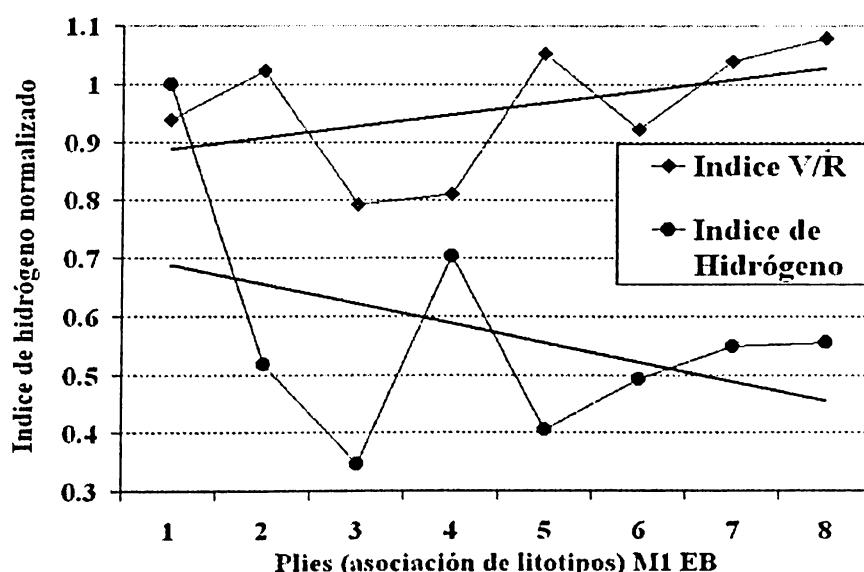
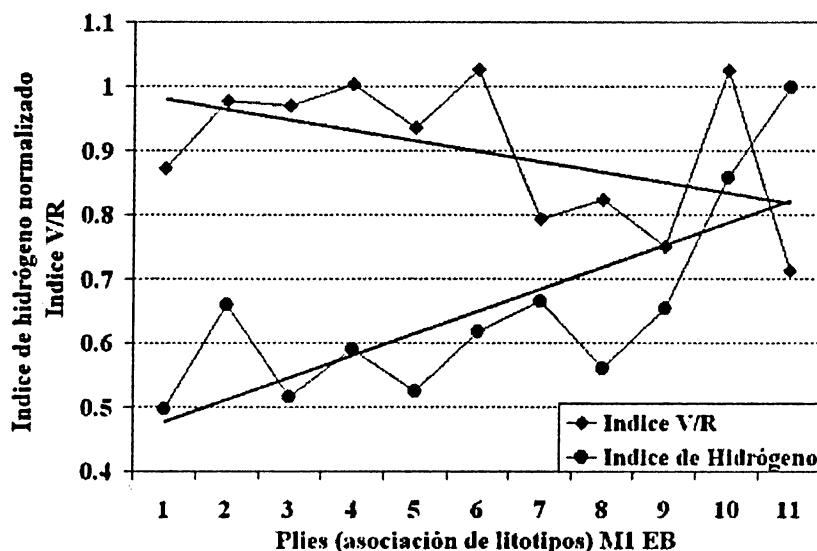


Figura 10.
Índice de hidrógeno normalizado versus el índice V/R para cada nivel del manto 1 El Bloque.

En la Figura 11 los plies 1 al 10 de M1 Nechi tienen comportamientos similares en cuanto a la fluorescencia y el índice de hidrógeno.

El ply 11 es contrario ya que tiene un índice V/R bajo que indica un color de fluorescencia rojizo o sea que es de baja fluorescencia, pero un índice de hidrógeno alto que puede ser por la presencia de bituminita, lo cual sugiere que aunque la fluorescencia sea baja, la aparición de este maceral en estas muestras se relaciona a altos índices de hidrógeno (> 250). Las tendencias del manto 1 Nechi indican que son contrarias al M1 El Bloque, verificando esto que este último manto está invertido como lo demuestra el predominio del color verdoso de la fluorescencia en los plies más profundos de dicho manto.



Indice de hidrógeno normalizado versus el índice V/R para cada nivel del manto 1 Nechi.

4. CONCLUSIONES

El conteo manual de puntos utilizado en la clasificación de las liptíntitas combinado con el de análisis de imagen permite hacer medidas de la fluorescencia por maceral y el manejo planteado de la información permite hacer comparaciones entre mantos, además que da posibilidades para contrastar la fluorescencia con el índice de hidrógeno que se relaciona con el potencial de generación.

Los datos promedios de cada ply por manto muestran las semejanzas y diferencias entre ellos, como se evidencia en los gráficos de índice V/R versus IH en donde las muestras que presentan las mejores posibilidades de generación corresponden al ply 1 de M1 El Bloque y el ply 11 de M1 Nechi, las cuales tienen tendencias contrarias a las demás muestras o sea a mayor índice de hidrógeno, menor color de fluorescencia, que se debe a la abundancia de bituminita con un color de fluorescencia amarillo pardo.

Entre estos dos mantos es necesario verificar la parte estructural que permita explicar el comportamiento invertido de la petrografía.

5. BIBLIOGRAFIA

- Alpern, B., 1976. Fluorescence et reflectance de la matière organique dispersée et évolution des sédiments. Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 10-1, pp 201-220.
- Arango, F., 2004. Metodología para el estudio de algunos componentes de las palinofacies para los carbones y rocas asociadas al manto 1 de la Formación Amagá, utilizando microscopía asistida por computador. Trabajo de grado. Universidad Nacional-Medellín. Facultad de Minas, Colombia. 127 P
- Arango F., Restrepo A. y Blandón A., 2003. Avance en el estudio de la materia orgánica sedimentaria utilizando herramientas de análisis de imagen. En: VIII Simposio de tratamiento de señales, imágenes y visión artificial. Medellín. 2003.
- Arango, F., Restrepo, A. y Blandón. A. 2004. Application of image analysis to the palinofacies of coal and associated shales. Abstract: TSOP, twenty- first annual meeting. Sydney Australia, pp 18-21.
- Blandón, A., Parra, N. y Arango., F., 2003. Método de preparación de muestras de carbón y rocas carbonosas para el

- estudio de la materia orgánica sedimentaria. Abstract: IX Congreso Colombiano de Geología, pp 227-228.
- Blandón A., Gorin G., Arango F. y Restrepo A., 2005. Comparison between petrography, palinofacies and Rock-Eval pyrolysis in sub-bituminous coals of the Tertiary Amaga Formation in Central Colombia and its relation with the potential for hydrocarbon generation. International Journal of Coal Geology. En revisión
- Blandón. A., y Restrepo, A., 2002. Estudio de los macerales liptiníticos del carbón de la Formación Amagá utilizando análisis de imagen. Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica ALAGO. Cartagena Colombia, pp 62-65.
- Clocke M., Lester E., Allen M. y Miles N., 1995. Automated Maceral Analysis Using Fluorescence Microscopy and Image Analysis. Fuel Vol 74 No5, pp 659-669.
- David, P. y Fermont, W., 1993. Determination of coal maceral composition by means of colour image analysis. Fuel proccessing technology, 36, pp 9-15.
- Escalera A., 2001. Visión por computador Fundamentos y Métodos. En Printice Hall Madrid Amo.
- Higthon, P. J., Pearson, A. y Scott, A., 1991. Palinofacies and palynodebris and their use in coal measure palaeoecology and palaeoenvironmental analysis. N. Jb. Geol. Palaont. Abh, Stuttgart. 183, 1-3, pp 135-169.
- ISO 7404-3., 1994. Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite – Part 3: Method of Determining Maceral Group Composition. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 4 P.
- Lester, E., Allen, M., Cloke, M. y Miles, N., 1993. Image analysis techiques for petrographic analysis. Fuel processing technology, 36, pp 17-24.
- Lester, E., Watts, D. y Cloke, M., 2002. A novel automated image analysis method for maceral analysis. Fuel 81, pp 2209-2217.
- Lorente M. A., 1990. Digital image analysis: an approach for quantitative characterization of organic facies and palinofacies. In proceedings of the international symposium on organic petrology, Zeist, Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 45, pp 103-109.
- Ottenjahn, K., Teichmuller, M. y Wolf, M., 1975. Spectral fluorescence measurements of sporinites in reflected light and their applicability for coalification studies. In: B. Alpern (Ed.) Petrographie de la matière organique des sédiments, relations avec la paleotemperatura et la potentiel petrolier, Paris, 1973, Centre National de la Recherche Scientifique, pp 49-65.
- Restrepo, A. y Blandón, A., 2002. Resultados del estudio de los macerales liptiníticos del carbón de la Formación Amagá utilizando análisis de imagen. EITI. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Minas.
- Restrepo, A., 2003. Desarrollo de la microscopía asistida por computador para el estudio del material particulado: etapa visión artificial de bajo nivel. EITI. Universidad Nacional de Colombia Medellín. Facultad de Minas.
- Restrepo, A., 2004. Microscopía asistida por computador (MAC) aplicada a la caracterización del material particulado. MSc thesis. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Colombia.
- Robert, P., 1980. The optical evolution of kerogen and geothermal histories applied to oil and gas exploration. In Durand, B. (Ed.), Kerogen, insoluble organic matter from sedimentary rocks: Editions Technip Paris: pp 385 - 414.
- Taylor, G. H., Teichmuller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R. y Robert, P., 1998. Organic Petrology. Gebruder Borntraeger, Berlin. Germany.
- Teichmuller, M. y Wolf, M., 1979. Application of fluorescence microscopy in coal petrology and oil exploration. J. microscopy, 109-1, pp 49-73.
- Thomas, L., 2002. Coal Geology. John Wiley y Sons Ltd (Ed.), England. 384 P.
- Tyson R. V., 1990. Automated transmitted light kerogen typing by image analysis: General aspects and program description. In proceedings of the international symposium on organic petrology, Zeist, 45, pp139-149.
- Yule, B., Roberts, S., Marshall, J. y Milton J., 1998. Quantitative Spore colour measurement using colour image analysis. Organic Geochemistry. Vol. 28 N° 3-4: pp 139-149.

