

PALINOFACIES Y GEOQUIMICA ORGANICA EN LAS ROCAS DEL APTIANO-CONIACIANO (VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA)

Campiño, L.F.¹; Parra Mantilla, P.²; Mora, C.³

RESUMEN

Un estudio comparativo entre la geoquímica orgánica y las palinofacies fue llevado a cabo en 67 muestras obtenidas a lo largo del intervalo Aptiano- Coniaciano en una sección de la quebrada Paipa, Sur del municipio de Ataco (Tolima), cuenca del Valle Superior del Magdalena. Mediante las observaciones palinofaciales se identificaron 7 componentes orgánicos: materia orgánica amorfa (MOA), fitoclastos, polen, esporas, dinoflagelados, opacos, resinas y foraminíferos. La variación porcentual de estos componentes permitió identificar una influencia continental importante en la Formación Caballos y un dominio marino en las formaciones La Luna, Lidita Inferior, Tetúan y Shale de Bambucá.

Los datos geoquímicos muestran altos valores de COT e IH para las formaciones marinas y en menor medida para la Formación Caballos, datos relacionados con kerógenos tipo II/III, respectivamente. El Tmax revela que la mayoría de las muestras no han alcanzado la madurez termal para la generación de hidrocarburos. La relación Palinofacies-Geoquímica orgánica indica que las Formaciones La Luna, Tetúan, Shale de Bambucá, pueden considerarse como rocas fuentes de petróleo debido a sus altos valores en IH, COT y altos contenido en MOA de tipo marino. La materia orgánica que origina kerógenos tipo I y II generalmente presenta alta fluorescencia, hecho que no se corrobora en este estudio, debido a la ausencia notoria de esta característica en la mayoría de las muestras.

Palabras clave: (Geoquímica orgánica, palinofacies, fluorescencia, materia orgánica, hidrocarburos)

PALYNOFACIES AND ORGANIC GEOCHEMISTRY IN THE INTERVAL APTIAN-CONIACIAN (UPPER MAGDALENA VALLEY)

ABSTRACT

A comparative study between organic geochemistry and the palinofacies was carried out in 67 samples obtained throughout the interval Aptian- Coniacian in a section of Paipa Creak, South of Ataco (Tolima), in the Upper Magdalena Valley. By means of the palinofaciales observations 7 organic components were identified: amorphous organic matter (MOA), phytoclast, palem, spores, dinoflagelates, resins, opaques phytoclast and forams. The percentage variation of these components allowed the identification of an important continental influence in the Caballos formation and a marine domain in the Tetuan, Shale de Bambuca, La Luna and Lower Lidita Formations.

The geochemical data show high values of COT and IH for the marine formations and in lesser quantity for the Caballos Formation, data related to kerógens type II/III, respectively. The Tmax reveals that most of the samples have not reached the thermal maturity for the hydrocarbon generation yet. The Palinofacies- Organic geochemistry relation indicates that La Luna, Tetún and Shale de Bambucá Formations can be consider as rocks petroleum sources due to its high values in IH, COT and MOA of marine type. The organic matter that originates kerogen type I and II is generally fluorescent, fact that is not corroborated in this study, due to the particular absence of this characteristic in most of the samples.

Key words: Organic geochemistry, palynofacies, fluorescence, organic matter, hydrocarbons.

¹ CI HILARION S.A. Luisa Fernanda Campiño. Calle 15A 30-170. Medellín. luisisrestrepo@yahoo.com.

² GEMS Ltda. Pedro Parra Mantilla. pedro.parra@gemsltda.com

³ GEMS Ltda. Cesar Mora. cmora@gemsltda.com

INTRODUCCIÓN

Normalmente, los estudios que se llevan a cabo para determinar el potencial generador de hidrocarburos de una cuenca se concentran en la evaluación de la materia orgánica mediante análisis geoquímicos. Recientemente se ha buscado la realización de estudios que integren la información química y óptica; ya que la unión de estas técnicas permite tener un mejor entendimiento de la formación de hidrocarburos: su ambiente de depositación, grado de alteración, dispersión y procesos diagenéticos que afectaron la materia orgánica (Tyson, 1995). En este trabajo se correlacionan tanto datos geoquímicos como palinofaciales en 67 muestras de afloramiento colectadas a lo largo del intervalo Albiano-Coniaciano en la Quebrada Paipa ubicada en la subcuenca de Neiva (VSM). Estas muestras corresponden estratigráficamente a la Formación Caballos, Grupo Villeta y la Formación Lidita Inferior.

ANTECEDENTES

La mayoría de los estudios realizados en la cuenca del Valle Superior del Magdalena se concentran en las rocas de la Formación Caballos y el Grupo Villeta ya que éstas

han sido reconocidas como las principales rocas generadoras de hidrocarburos en la zona (Navarro 2002, Ramòn 2001, Kairuz et al 2000, Córdoba 1998, Vergara 1997). Sin embargo, estos trabajos de geoquímica orgánica habitualmente no se han integrado y correlacionado con estudios palinofaciales, y no existe mucha documentación disponible en el medio acerca de posibles estudios donde se integren ambos métodos, ya que estos tienen carácter confidencial, debido a la importancia económica de esta información. Además, las correlaciones entre la geoquímica orgánica y datos ópticos que generalmente se encuentran en la literatura se han concentrado en la exploración de las relaciones existentes entre los datos derivados de la geoquímica orgánica, la petrología del carbón y en menor magnitud con análisis derivados de las palinofacies (Batten, 1996).

MARCO GEOLÓGICO

La cuenca del Valle Superior del Magdalena es una cuenca intermontana localizada en el valle del río Magdalena, entre las cordilleras Central y Oriental de Colombia. Se encuentra dividida por el alto estructural de Natagaima en las subcuenca de Girardot al norte y la subcuenca de Neiva al sur. Esta conformada por rocas ígneas, meta-

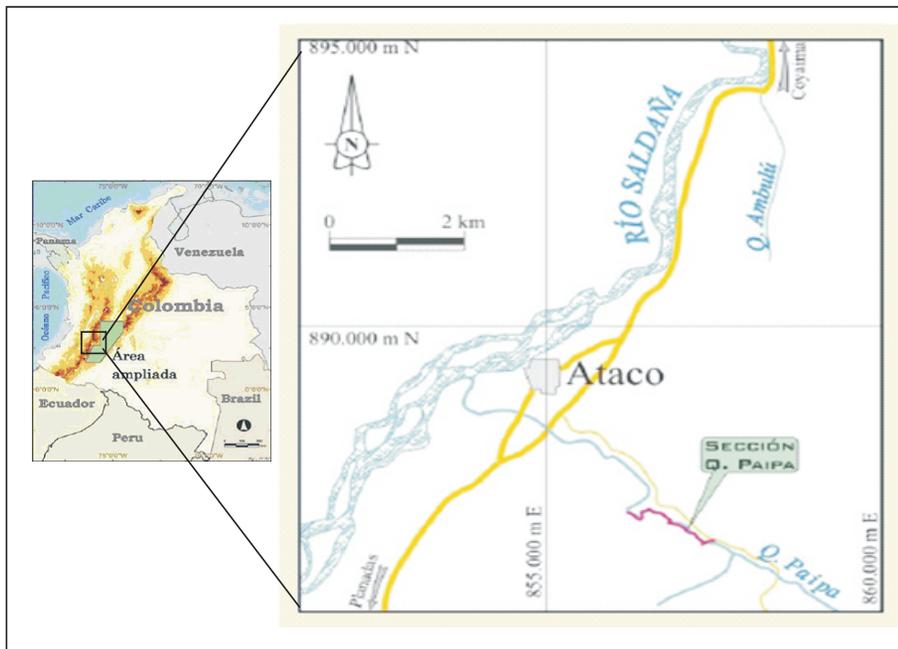


FIGURA 1. Localización de la sección Cretácica estudiada en este trabajo.

TABLA 1. Resultados de los análisis geoquímicos (Rock Eval I y COT) de las muestras de afloramiento estudiadas de la Quebrada Paipa.

Muestra	Formación	Este	Norte	Prof. m.	COT wt%	Tmax °C	S1	S2	HI	OI
							mgHC/g roca	mgHC/g roca	mg HC/g COT	mg HC/g COT
QP-04	Caballos	857325.6	886196.5	85	1,12					
QP-05	Caballos	857315.2	886227.5	93	1,56	441	0,15	2,81	180	1
QP-07	Caballos	857281.2	886271.1	127	2,66					
QP-10	Caballos	857227.3	886328.9	165	46,19	431	7,65	153,29	332	0
QP-12	Caballos	857221.9	886340.5	172	1,91					
QP-13	Caballos	857211.5	886362.7	185	5,13	439	1,09	15,16	296	0
QP-16	Tetúan	857188.8	886376.4	198	3,89					
QP-17	Tetúan	857170.0	886383.2	205	1,77	430	0,26	7,78	440	8
QP-18	Tetúan	857151.7	886388.4	215	1,35					
QP-19	Tetúan	857120.4	886395.0	225	4,83					
QP-20	Tetúan	857106.6	886403.4	230	0,88					
QP-21	Tetúan	857076.3	886438.0	260	3,22	434	1,04	15,99	497	2
QP-22	Tetúan	857054.5	886469.0	285	3,51					
QP-23	Tetúan	857041.7	886474.7	196	8,43	436	4,02	36,73	436	5
QP-24	Tetúan	857023.5	886482.8	310	2,69					
QP-25	Tetúan	857006.7	886491.4	320	4,91	436	2,7	22,46	457	0
QP-26	Tetúan	856988.7	886508.8	338	4,13					
QP-27	Tetúan	856970.0	886524.7	355	4,37	437	1,66	17,71	405	1
QP-28	Tetúan	856949.5	886529.5	370	6,19					
QP-29	Bambuca	856926.1	886534.9	375	8,91	435	5,2	50,96	572	2
QP-31	Bambuca	856877.8	886547.7	400	9,87					
QP-33	Bambuca	856838.8	886560.3	435	5,77	428	1,85	29,3	508	7
QP-35	Bambuca	856840.4	886613.9	465	14,81					
QP-37	Bambuca	856814.4	886638.1	495	10,80	428	3,51	60,84	563	10
QP-39	Bambuca	856782.4	886660.0	525	9,85					
QP-40	Bambuca	856760.4	886675.3	538	9,39	426	2,99	54,64	582	4
QP-42	Bambuca	856741.5	886698.6	570	7,13					
QP-44	Bambuca	856718.8	886717.3	590	4,96	424	0,76	24,02	484	6
QP-46	Bambuca	856698.9	886727.8	610	1,88					
QP-47	La Luna	856677.9	886733.5	620	13,57	425	5,87	81,99	604	2
QP-48	La Luna	856651.9	886733.1	635	13,18					
QP-49	La Luna	856637.9	886732.8	652	15,95	428	6,17	91,29	572	1
QP-50	La Luna	856619.4	886737.1	660	15,52					
QP-51	La Luna	856608.7	886739.6	675	6,90	423	2,49	36,59	530	9
QP-52	La Luna	856593.5	886749.7	680	10,03					
QP-54	La Luna	856556.9	886778.4	700	13,66	426	4,56	87,11	638	8
QP-55	La Luna	856538.0	886790.7	730	4,77					
QP-57	La Luna	856364.3	886633.5	755	9,60	419	2,63	56,6	590	10
QP-58	La Luna	856354.5	886639.6	765	4,74					
QP-59	La Luna	856345.7	886646.8	775	6,31					
QP-61	La Luna	856333.5	886659.1	785	3,67					
QP-63	La Luna	856321.3	886671.2	800	3,80					

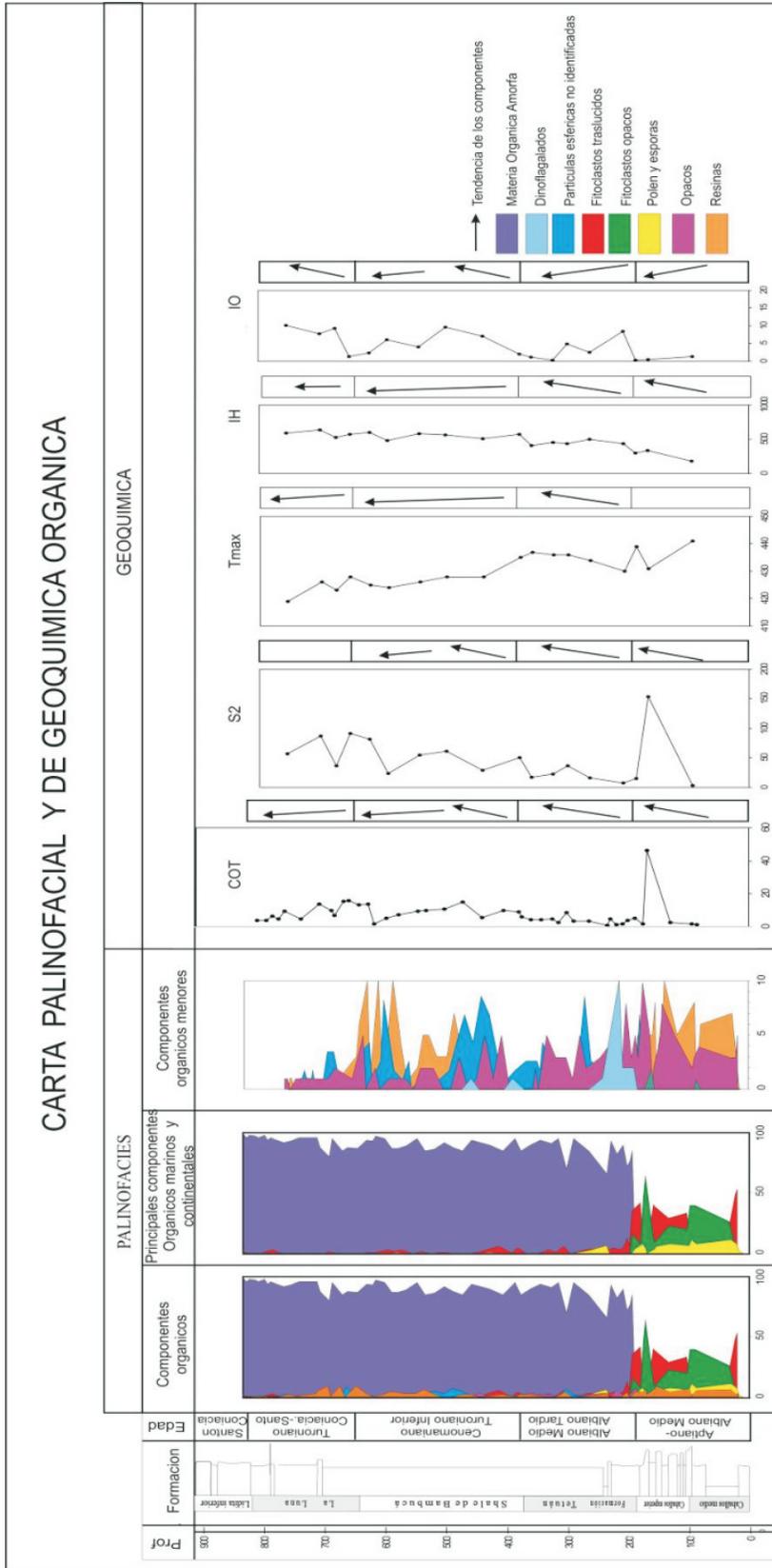


FIGURA 2. Relación de las variaciones porcentuales de los datos geoquímicos y palinofaciales obtenidos en este estudio. Obsérvese el dominio de fitoclastos en la Formación Caballos y de MOA en las formaciones marinas que la suprayacen. Además la riqueza orgánica de las formaciones estudiadas y sus Tmax por debajo de 440°C.

mórficas y sedimentarias que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario. Para esta cuenca, no existe una nomenclatura estratigráfica formal, especialmente para las rocas Cretácicas, debido a la gran proliferación de nombres dados por diversos autores y compañías petroleras (Vergara, 1997). El intervalo muestreado en este estudio se encuentra ubicado en la Quebrada Paipa, localizada al sur del municipio de Ataco, departamento del Tolima. (FIGURA 1), cuyas coordenadas planas origen Bogotá, de la base y el tope de la sección son: X= 857522, Y = 886252; y X = 856195, Y = 88675.

METODOLOGÍA

Un total de 67 muestras fueron colectadas en una sección de afloramiento de 820 metros pertenecientes al intervalo Albiano-Conociaciano de Quebrada Paipa (VSM). La recolección de las muestras estuvo sujeta a las condiciones de exposición de los afloramientos, sin embargo se siguió una línea de muestreo en lo posible cada 10 metros. Las muestras fueron analizadas mediante el método de pirólisis Rock Eval I e interpretadas según los parámetros propuestos por Peters & Cassa (1994). Las láminas palinológicas fueron preparadas según el método estándar de preparación palinológico, utilizado por el Instituto Colombiano de Petróleo (ICP). Las ob-

servaciones petrográficas se hicieron en un microscopio Leitz Orthoplan configurado para luz transmitida, reflejada y fluorescente; siguiendo el sistema de clasificación de materia orgánica de Tyson (1995).

RESULTADOS OBTENIDOS

42 análisis de COT y 18 de pirólisis Rock Eval I fueron realizados en las muestras colectadas en la Quebrada Paipa (TABLA 1). La distribución estratigráfica de los datos geoquímicos se aprecia en la FIGURA 2. En ella se observa que las formaciones La Luna y Shale de Bambucá presentan los valores más altos de COT e IH, valores que pueden generar kerógeno tipo II, sin embargo, las muestras analizadas no han alcanzado la madurez termal suficiente para la generación de hidrocarburos.

Por su parte la Formación Tetúan, presenta valores de COT, IH, S2 excelentes, con Temperaturas máximas entre 434-437 °C, localizando las muestras en la ventana de generación de hidrocarburos. La Formación Caballos, aunque no presenta valores de COT e HI tan altos como las formaciones La Luna, Shale de Bambucá, y Tetúan si ha alcanzado la madurez termal suficiente para la generación de hidrocarburos.

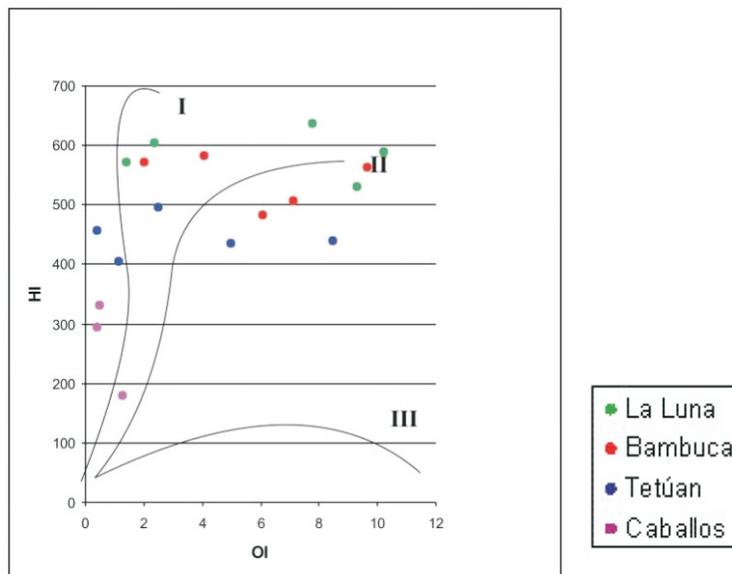


FIGURA 3. Diagrama de Van krevelen modificado, donde se grafican los valores de HI y OI obtenidos para cada formación estudiada. Nótese que la mayoría de los datos se encuentran en rango de Kerógenos I y II.

La disminución progresiva del Tmax hacia el tope de la secuencia, esta relacionado con el grado de enterramiento y el gradiente termal, que aumenta con la profundidad. El IH aumenta notablemente de base a techo, lo que evidencia un cambio en el tipo de materia orgánica depositada en cada formación e igualmente un cambio en el gradiente geotérmico. Las variaciones porcentuales en la concentración de COT indican la variabilidad en la productividad de material orgánico en los ambientes de depósito.

En el diagrama modificado de Van Krevelen (FIGURA 3), se observa que la formación Caballos presenta los IH más bajos y la mayor madurez de todas las formaciones estudiadas. Las formaciones La Luna, Shale de Bambucá y Tetuán se encontrarían generando hidrocarburos líquidos, mientras la Formación Caballos una mezcla de hidrocarburos líquidos y gaseosos.

La FIGURA 4 muestra la relación COT vs IH. En ella se aprecia que a medida que aumenta el contenido de carbono en las muestras el IH aumenta. La Formación la Luna posee los mayores valores de IH y COT, mientras la Formación Caballos presenta los más bajos. Evidenciado nuevamente el origen de las formaciones y la calidad de la materia orgánica de las mismas.

En el estudio de las láminas palinológicas se identificaron tres grupos de partículas orgánicas:

1. grupo amorfo 2. fitoclastos y 3. palinomorfos. Sus proporciones relativas permitieron separar ambientes marinos y terrestres.

Las palinofacies marinas están compuestas principalmente por materia orgánica amorfa (>80%) y en menor proporción por dinoflagelados y restos de foraminíferos. Dominando en las Formaciones Tetuán, Shale de Bambucá, La Luna y Lidita Inferior. Las palinofacies terrestres están representadas por la Formación Caballos, constituida por fitoclastos, fragmentos opacos, resinas y palinomorfos terrestres (e.g. polen y esporas). Los fitoclastos son abundantes a través de toda la formación, algunos de ellos se encuentran altamente degradados y gelificados. Los palinomorfos se encuentran mal preservados y presentan bajos porcentajes (<10%). Las resinas no superan el 5% del total de las muestras y dentro de los opacos, se incluyen partículas esféricas y algunos fragmentos de madera carbonizada.

La distribución estratigráfica de los componentes orgánicos encontrados puede apreciarse en la FIGURA 2, donde

se nota que 1. La Formación Caballos está compuesta principalmente por fitoclastos, lo que indica ambientes de depositación con importante influencia continental. Estos fitoclastos disminuyen en proporción a medida que se asciende en la columna estratigráfica, lo que sugiere un alejamiento de las fuentes terrestres. 2. En las formaciones descritas como marinas, se aprecia la aparición de unas partículas esféricas no identificadas. Estas se caracterizan por su color pardo oscuro, bordes lisos y una fluorescencia casi nula. Se diferencian de las resinas, ya que estas poseen alta fluorescencia; y de restos de foraminíferos, ya que los bordes de estos tienden a ser aserrados. 3. La presencia de dinoflagelados y restos de foraminíferos es común para todas las formaciones, excepto para la Formación Caballos. 4. Los palinomorfos (e.g polen y esporas) y fitoclastos (e.g hifas de hongos), son característicos de la Formación Caballos; en general se encuentran degradados y en muy bajos porcentajes.

El color de la materia orgánica amorfa es típicamente amarillo pálido a pardo claro, aunque algunas partículas presentan colores oscuros entre café pálido y oscuro. Esta medida en el color de la materia orgánica, fue realizada con base al Índice de Alteración Termal (IAT). Este índice indica que la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en la fase temprana de generación de aceite.

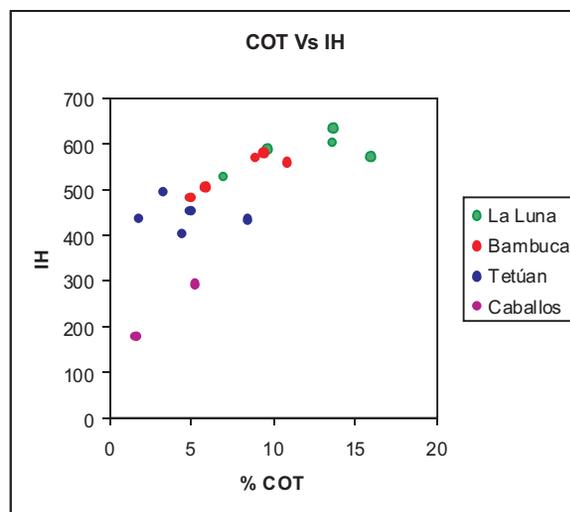


FIGURA 4. Relación de IH vs COT en las muestras estudiadas. Obsérvese el aumento del contenido de IH a medida que aumenta el contenido de COT. La Formación Caballos presenta los contenidos más bajos de IH y COT, mientras la Formación La Luna los más altos.

En cuanto a la fluorescencia de la materia orgánica, se observa que la de origen continental (típicamente fitoclastos), no presenta fluorescencia y la de origen marino (MOA) presenta una fluorescencia no muy alta (ver FIGURA 5), especialmente la Formación Shale de Bambucá cuya materia orgánica amorfa carece de fluorescencia, sugiriendo probablemente que las condiciones de oxidación que ocurrieron para esta época fueron mucho mayores que las que ocurrieron durante el tiempo de depositación de las demás formaciones marinas. Algunos autores como Tyson (2006) sugieren que la poca fluorescencia de las muestras puede deberse a: 1. que la materia orgánica no tenga la madurez térmica suficiente. Esto es improbable ya que los datos de geoquímica orgánica sugieren etapas tempranas de maduración o próximas a esta. 2. que la materia orgánica amorfa se encuentre altamente degradada. En las observaciones palinológicas se observa que esta la MOA se encuentra bien preservada, sin embargo, es necesario, un estudio más detallado donde se aprecien con mayor detalle los cambios que presente la MOA a través de toda la sección.

La Formación Caballos, comparada con las formaciones marinas, presenta valores de COT bajos con una tendencia levemente ascendente de base a techo. El Tmax alcanzado en las muestras (zona madura), el IH predominantemente bajo y las facies orgánicas (principalmente fitoclastos) sugieren la formación de un Kerogeno tipo II/III. Sin embargo es importante anotar que la densidad de datos geoquímicos es muy baja como para realizar una estimación adecuada del tipo de kerogeno producido por esta formación, no obstante la abundancia relativa de fitoclastos, sugiere la posible generación de hidrocarburos gaseosos.

La Formación Tetuán presenta valores de COT de buenos a excelentes con una tendencia levemente ascendente hacia el tope de la Formación. Algunas disminuciones leves en el contenido de COT pueden observarse también en los porcentajes relativos de MOA y S2 de las muestras. La Tmax, el COT, la MOA, el S2 y el HI, sugieren que esta formación se encuentra en la ventana de generación de aceite. La presencia de algunos fitoclastos en esta formación indican un leve aporte continental, la MOA bien preservada y los altos valores de COT demuestran condiciones anóxicas donde la tasa de depositación de la materia orgánica debió ser lenta.

La Formación Shale de Bambucá se caracteriza por presentar dos tendencias en cuanto a la concentración

de COT, una ascendente desde la base hasta aproximadamente los 480 metros de la sección y una descendente desde este punto hasta el tope de la formación. Estas variaciones se observan también en el S2 y levemente en el índice de hidrogeno. El descenso del COT y el IH pueden estar relacionados con un descenso en el nivel del mar, indicando menor aporte de material orgánico rico en lípidos. La MOA bien preservada y los altos valores de COT sugieren condiciones anóxicas donde la tasa de depositación de la materia orgánica debió ser lenta. La Tmax muestra de que a pesar de que la Formación sea potencial generadora de Hidrocarburos, la madurez de la materia orgánica no ha sido alcanzada aún.

Para la Formación La Luna se observan valores de COT de buenos a excelentes con una tendencia descendente hacia el techo de la formación. Sin embargo, el HI permanece constante con una leve tendencia a aumentar. La MOA bien preservada y los altos valores de COT sugieren condiciones anóxicas donde la tasa de depositación de la materia orgánica debió ser lenta. El descenso progresivo del COT sugiere que la tasa de depositación de materia orgánica debió disminuir hacia el techo de la formación.

Para la Formación Lidita Inferior no se cuentan con datos de geoquímica orgánica, pero los altos porcentajes de MOA >95%, y sus características litológicas (principalmente una sucesión de chert con algunos niveles calcáreos); sugieren un ambiente marino, de condiciones anóxicas, que permitió la conservación de la materia orgánica observada en las preparaciones palinológicas.

Tanto los datos geoquímicos, palinofaciales y estratigráficos (bajas concentraciones de IH, alto contenido de fitoclastos y una litoestratigrafía compuesta básicamente por arenitas cuarzosas bioturbadas bien seleccionadas); muestran el dominio de componentes continentales para la Formación Caballos y el dominio de medios marinos anóxicos para el Grupo Villeta y la Formación Lidita Inferior; debido a la gran cantidad de rocas oscuras, la ausencia de bioturbación, la presencia de dinoflagelados y altos porcentajes de COT, IH y MOA.

DISCUSIÓN

Se ha dicho que la alta fluorescencia de la materia orgánica amorfa de origen marino es un indicador del potencial generador de hidrocarburos, en este estudio, los datos de geoquímica orgánica y fluorescencia para las formaciones

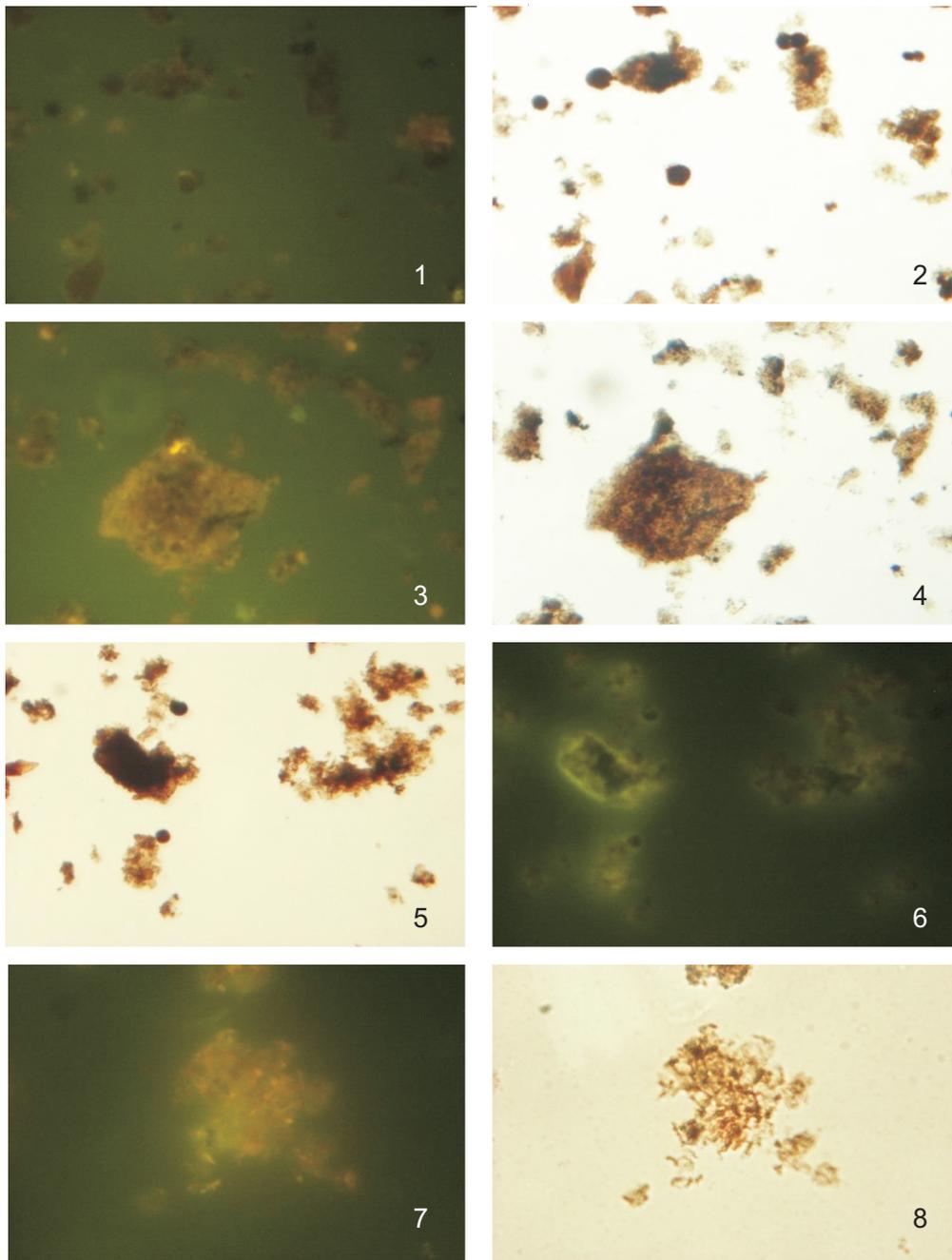


FIGURA 5. Fluorescencia de las formaciones estudiadas. 1,3, 6, 8 fotografías con luz fluorescente, 2,4,5,7, fotografías sin fluorescencia. 1,2 Formación La Luna; 2,4 Formación Lidita Inferior; 5,6 Formación Shale de Bambucá; 7,8 Formación Tetuán. Nótese la baja fluorescencia de la MO en las formaciones La Luna y Shale de Bambucá (la fluorescencia observada en esta fotografía pertenece a la resina empleada en el montaje de las láminas)

no son correspondientes. Ya que los datos de geoquímica orgánica sugieren que todas las formaciones marinas se encuentran en el rango Kerógeno tipo II, para el cual la materia orgánica sería principalmente de origen marino (visualmente caracterizada como MOA), cuya fluorescencia debería ser alta, caso que no puede verificarse, ya que a pesar de que la mayoría de las formaciones no presentan la madurez teórica para la generación de hidrocarburos el color de la fluorescencia es muy bajo, contrario a lo que según Gorin (2001) y Tyson (1995) debería esperarse. (A mayor madurez, menor intensidad en la fluorescencia).

CONCLUSIONES

Los resultados geoquímicos y palinofaciales muestran a la Formación Tetúan como la principal generadora de hidrocarburos. Seguida de las formaciones La Luna, Caballos y Shale de Bambucá.

Las Formaciones del Grupo Villeta y Lidita Inferior presentan homogeneidad en las palinofacies, en cuanto a los altos porcentajes de MOA, bajos porcentajes de fitoclastos, resinas, esporomorfos y dinoflagelados. Las palinofacies muestran que la materia orgánica contenida en las formaciones es principalmente materia orgánica amorfa de origen marino. La relación entre el IH y las palinofacies es coherente para las formaciones marinas, sin embargo es preciso tener en cuenta que para la Formación Caballos se esperaban índices de Oxígeno más altos, debido a que las palinofacies corresponden principalmente a restos maderáceos.

AGRADECIMIENTOS

A el Doctor Andrés Pardo Trujillo (ANH) por su constante asesoría. A la empresa GEMS LTDA, por proporcionarme los datos geoquímicos y las muestras palinológicas de este estudio. A la Universidad Nacional de Colombia, por permitir el uso de sus laboratorios.

REFERENCIAS

Batten, D. J. (1996). *Palinofacies and Petroleum Potencial*. *Palinology: principles and applications*. J. Jansonius and McGregor, AASP, Vol. 3, pp.1065-1084.

Gorin, G. E., Fiet, N., Pellaton, Caroline (2001). "Problems in identifying the origin of amorphous organic matter in palynofacies studies: some examples." *International Association of Sedimentologist*, Vol. 21, No. 102.

Kairuz, E. P. F. O., Solano (2000). "Provincia petrolífera del Valle Superior del Magdalena, Colombia." VII Simposio Bolivariano 1: 533-536.

Navarro, J., Códoba, F. (2002). Definición de eventos de generación de hidrocarburos en la subcuenca de Girardot, Valle Superior del Magdalena, Colombia. Bogotá, Universidad Nacional: 422.

Ramón, J. C., Dzou, L. I. et al. (2001). "Evolution of the Cretaceous organic facies in Colombia: implications for oil compositions." *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 14, pp. 31-50.

Sarmiento, L. F. and Rangel, A. (2004). "Petroleum systems of the Upper Magdalena Valley, Colombia." *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 21, pp. 373-391.

Tyson, R. V. (1995). *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*, Chapman & Hall.

Tyson, R. V. (2006). Personal communication.

Vergara, L. (1997). "Cretaceous Black Shales in the Upper Magdalena Valley, Colombia. New Organic Geochemical Results (Part II)." *Journal of South American Earth Sciences*, Vol.10(2), pp. 113-145.

Vergara, L. (1997). "Stratigraphy, Foraminiferal Assemblages and Paleoenvironments in The late Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia (Part I)." *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 10(2), pp. 111-132.

Trabajo recibido: marzo 30 de 2007

Trabajo aceptado: julio 30 de 2007