

Comparación entre resultados experimentales y de sistemas naturales durante la migración primaria: distribución de la materia orgánica

*Liliana López**

*Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
Apartado 3895. Caracas 1010-A, Venezuela.*

Recibido: 14-10-08 Aceptado 27-04-10

Resumen

Se presentan los resultados de la simulación experimental de generación y expulsión de bitumen al someter rocas fuente a diferentes presiones de confinamiento y temperaturas en una celda autoclave. Los experimentos se realizaron en rocas inmaduras (Cuenca de París, Jurásico Inferior), maduras (Mar del Norte, Kimmeridge, Jurásico Superior) y un carbón sapropélico inmaduro, y se comparan con aspectos de migración observados en las formaciones Querecual y San Antonio (Cuenca Oriental de Venezuela, Cretácico), con énfasis en la distribución de materia orgánica (MO) a través de petrografía orgánica. En las rocas sometidas a experimentos, la concentración de carbono orgánico y el tipo de querógeno controlan la saturación del bitumen en los poros de la roca, mientras que la temperatura, la presión y la textura de la roca fuente controlan la cantidad de bitumen expulsado. En todas las muestras la MO se encuentra en fracturas paralelas y oblicuas a la laminación, en los planos de la laminación de la roca y como masas dispersas. La distribución de MO determinada por petrografía orgánica presenta características similares a lo observado en sistemas naturales. En ambos, experimentos y sistemas naturales, las fracturas son las vías para la migración y expulsión del bitumen de la roca.

Palabras clave: migración primaria, formación Querecual y San Antonio, experimentos de migración, petrografía orgánica, madurez.

Comparison between experimental and natural systems during primary migration: organic matter distribution

Abstract

This paper presents the results from the experimental simulation of generation and expulsion of bitumen from different source rocks subjected to confining pressure and temperature variations in an autoclave cell. Experiments were performed on immature rocks (Paris Basin, Lower Jurassic), mature rocks (North Sea, Kimmeridge, Upper Jurassic) and an immature sapropelic coal. Results are compared with migration features observed in Querecual and San Antonio formations (Eastern Venezuela Basin, Cretaceous), with emphasis on the organic matter distribution in the source rock, determined by optical analysis. In the rocks subjected to experiments, the organic carbon concentration and kerogen type control the bitumen saturation in the porosity and permeability, while the temperature, pressure, and the source rock texture

* Autor para la correspondencia: liliana.lopez@ciens.ucv.ve

control the amount of bitumen generated and expelled. In all samples the organic matter is found in fractures parallel or oblique to lamination, between lamination planes in the rock and as disperse masses. The organic matter distribution, determined by organic petrography, shows features similar to natural systems. In both, experiments and natural systems fractures act as routes for the migration and expulsion of bitumen from the source rock.

Key words: primary migration, Querecual and San Antonio formation, migration experiments, organic petrography, maturity.

Introducción

La migración primaria es el movimiento de los componentes del bitumen a través de una roca fuente de baja porosidad y permeabilidad que ha alcanzado condiciones de madurez para la generación y expulsión del bitumen (1, 2). En este campo se han desarrollado muchas investigaciones en el estudio en sistemas naturales (3-17) y en la simulación de migración y expulsión de hidrocarburos (18-24). La migración primaria ocurre en rocas de muy baja porosidad y permeabilidad, donde la fuerza impulsora para la migración y expulsión es la presión generada por la transformación del querógeno sólido a hidrocarburos líquidos y gaseosos (bitumen), que produce un incremento en el volumen molar, e induce el fracturamiento (25, 26). Estas fracturas son las vías por las cuales el bitumen migra y es expulsado de la roca fuente (5, 15, 16, 22, 27, 28). Debido a la importancia que reviste conocer las vías de migración y expulsión del bitumen en una roca fuente, para el mejor entendimiento de los mecanismos de generación y expulsión, este trabajo presenta el estudio a través del análisis óptico por petrografía orgánica, en núcleos de rocas fuentes inmaduras de la Cuenca de París (Jurásico Inferior), maduras del Mar del Norte (Kimmeridge, equivalente arcilloso del Jurásico Superior) y un carbón sapropélico inmaduro, donde se realizó la simulación de maduración, migración y expulsión del bitumen, al ser sometidas a diferentes condiciones de temperatura, presión y tiempo. Estos resultados son comparados con los obtenidos para calizas y lutitas de la localidad tipo de la Formaciones Querecual y San Antonio (río Querecual, estado Anzoáte-

gui) cuya maduración y generación ocurrió de forma natural.

Materiales y métodos

Para las simulaciones de generación y expulsión de hidrocarburos se utilizaron muestras de núcleo inmaduros de la Cuenca de París (lutitas del Jurásico Inferior), maduros del Mar del Norte (Kimmeridge, equivalente arcilloso del Jurásico Superior). Las muestras del Jurásico Inferior presentan querógeno tipo II, T_{max} entre 416 a 424°C, y COT entre 2 y 10% (23). Las muestras maduras del Jurásico Superior presentan querógeno tipo II, T_{max} entre 440-450°C, COT entre 5 y 6% y concentraciones de bitumen del 2%. La muestra con querógeno tipo III, corresponde a un carbón sapropélico inmaduro, con T_{max} de 430 a 435°C (23). Las formaciones Querecual y San Antonio (Cretácico), correspondientes a calizas y lutitas en su localidad tipo, presentan concentraciones de carbono orgánico total entre 0,5 a 5,6% y 0,8 a 3,7% respectivamente, con una madurez avanzada (T_{max} > 450°C) (29).

El equipo utilizado en los experimentos se describe en trabajos previos (20-23). Los experimentos se realizaron en cilindros de roca (4 cm diámetro × 4 de longitud), bajo condiciones de temperatura (25-350°C) y presión (0-5000 bar) controladas, en ambiente anhidro, la presión de confinamiento se obtuvo de una bomba de alta presión (20, 23). Dependiendo de la madurez de la muestra se realizaron dos tipos de experimentos. Para las muestras inmaduras se realizó la maduración artificial antes de realizar los experimentos de expulsión, a 1000 bar y

300°C por 48 horas, con posterior determinación de la madurez por pirolisis Rock-Eval (20). Los experimentos de expulsión se realizaron a una temperatura de 80, 130, 175 y 250°C y presiones de confinamiento de 200, 500, 1000, 1700 y 3000 bar (tabla 1). Para las rocas fuentes maduras solo se realizaron los experimentos de expulsión (tabla 1). Los experimentos de expulsión consistieron en aplicar presión de forma isotrópica a los cilindros de roca en el equipo experimental, y de esta manera el bitumen generado es colectado en una placa porosa de metal (0,5 cm de espesor), de donde se extrae con cloroformo (20, 23).

Posterior a los experimentos las rocas se cortaron en láminas delgadas ($\cong 2$ cm)

con el objeto de estudiar los efectos de migración por medio de petrografía orgánica. La descripción de la distribución de materia orgánica en 19 muestras de rocas se realizó en un microscopio Leitz, con luz blanca y fluorescente, utilizando tacos de roca pulidos. Las descripciones se realizaron en objetivos secos (sin inmersión en aceite) de 16x, 32x y 50x. Para la fluorescencia se utilizó una lámpara de mercurio (excitación a 365, 408 y 436 nm). Posteriormente se realizó una comparación de la distribución de la materia orgánica (MO), para relacionar las características ópticas en función de las condiciones experimentales de generación y expulsión (presión, temperatura y tiempo) y las características de la roca fuente (textura,

Tabla 1
Condiciones experimentales para la generación, y expulsión de hidrocarburos (22, 23)

Muestras	Generación			Expulsión		
	T (°C)	P (bar)	T (h)	T (°C)	P (bar)	T (h)
3004	300	1000	48	130	3000	72
3005	300	1000	48	130	500	72
3008	300	1000	48	80	200	72
3013	300	1000	48	250	1000	72
3015	300	1000	48	80	1000	72
3023	300	1000	48	175	1000	72
3024	300	1000	48	175	1000	72
3029)	330	1000	48	-	-	-
3030	300	1000	48	175	1000	72
3031	330	1000	48	175	1000	15 días
5004	300	170	100	175	1700	72
5005	330	170	100	175	1700	72
5006	300	170	100	175	1700	72
5017	300	170	100	175	1700	72
5011	330	170	100	175	1700	72
5016	330	170	100	175	1700	72
5020	330	170	100	175	1700	72
7000	330	1000	72	175	500	72
7001	330	1000	72	175	500	72

estructura, concentración de carbono orgánico total y tipo de querógeno). También se compararon estas características con las obtenidas del estudio por petrografía orgánica (15, 16, 30, 31) para calizas y lutitas de las formaciones del Cretácico, Querecual y San Antonio, en la localidad tipo (río Querecual, estado Anzoátegui).

Resultados y discusión

Sobre la base de la petrografía orgánica realizada a las muestras objeto de estudio, las principales diferencias corresponden la distribución e intensidad de fluorescencia de la materia orgánica (MO) en las rocas, ya sea que esta se observara dispersa o en fracturas (paralelas u oblicuas a la laminación) y la continuidad de estas fracturas.

Efecto de la presión

Las lutitas 3004, 3005 y 3008 (querógeno tipo II, inmaduras con temperatura máxima inicial entre 416 y 424°C), fueron sometidas a experimentos de generación a

las mismas condiciones de temperatura, presión y tiempo, con variaciones en las condiciones de expulsión, realizadas a dos temperaturas (80 y 130°C), tres presiones (200, 500 y 3000 bar) y a tiempo constante (72 horas) (tabla 1). Estas muestras presentan una matriz arcillosa con vetas de calcita y algas Tasmanitas de color amarillo brillante, que de acuerdo a su alta fluorescencia, y utilizando el estado de preservación de los polinomorfos y el índice de alteración térmica (IAT) (32), se ubican en una etapa de baja madurez a las condiciones experimentales para la generación de bitumen (figura 1).

Cuando se comparó la distribución de MO en este grupo de muestras, para 3004 la MO se observó dispersa en la matriz mineral y orientada paralela a la laminación, en 3005 (figura 1) la MO estaba dispersa en la matriz mineral y para 3008 la MO se observó en algunas fracturas. Estas diferencias se atribuyen a las condiciones experimentales, para 3004, los experimentos de expulsión fueron realizados a mayor presión (tabla 1) y como consecuencia la porosidad y permea-

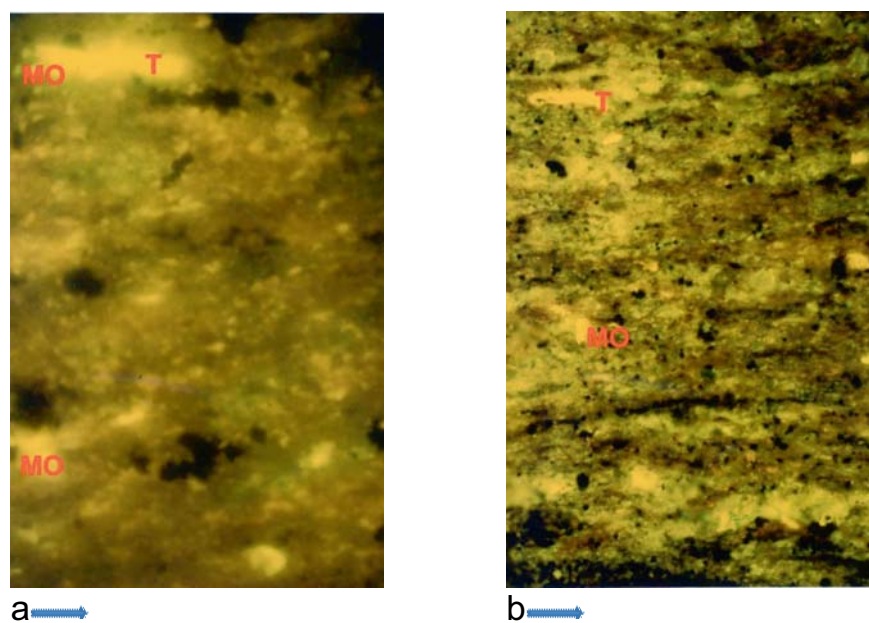


Figura 1. Algas Tasmanitas rodeadas de MO paralela a la laminación. Muestra 3005. Objetivo 32x (a), escala vertical 0,40 mm. Algas Tasmanitas y MO dispersa en la roca. Muestra 3005. Objetivo 16x (b), escala vertical 0,55 mm. → Estratificación.

bilidad disminuyó (23, 25, 26). En este caso, el bitumen generado migró y fue expulsado a través de los planos de laminación de la roca. Para 3005 y 3008 el bitumen se observó distribuido en forma paralela y perpendicular a la laminación de la roca, como consecuencia de experimentos de expulsión realizados a menor presión y por lo tanto la disminución de la porosidad y permeabilidad fue menor. Con relación a la frecuencia de fracturamiento, el orden fue: 3005 > 3008 > 3004, lo que se atribuye a las presiones experimentales a que fueron sometidas las muestras para la expulsión del bitumen (tabla 1). Se supone que para las rocas utilizadas la porosidad y permeabilidad inicial no disminuyó de forma apreciable, a las condiciones experimentales de presión (200 y 500 bar), por lo que es probable que la migración y expulsión del bitumen ocurrió a través de la permeabilidad inicial de la roca. Este no es el caso en los experimentos a altas presiones (3000 bar), donde la porosidad y permeabilidad inicial de la roca disminuyó (3004). Estas observaciones ópticas concuerdan con las eficiencias de expulsión experimentales, las cuales son bajas para los experimentos realizados a altas presiones (20, 23), y es similar a lo que ocurre en la naturaleza, donde el incremento de la presión por soterramiento, disminuye la porosidad y permeabilidad en la roca por compactación (33, 34).

Efecto de la temperatura

Se compararon las lutitas 3013 y 3015, sometidas a las mismas condiciones de maduración artificial, y diferentes temperaturas de expulsión (tabla 1). Para 3013 se observó la presencia de algas Tasmanitas, con una menor intensidad de fluorescencia (color amarillo-marrón) y rodeadas de MO (fluorescencia verde-amarillo), mientras que para 3015 las algas Tasmanitas presentaron una mayor intensidad de fluorescencia (color amarillo brillante). Estos resultados se pueden correlacionar con las temperatu-

ras de expulsión, para 3013 el aumento de la temperatura permite la expulsión de los hidrocarburos que se generan en las Tasmanitas, y de allí la mayor fluorescencia alrededor de las algas, mientras que a menor temperatura (3015) no ocurre la expulsión de los hidrocarburos generados de las algas, y por lo tanto no se observó fluorescencia adicional alrededor de estas algas. Para 3013 la MO está dispersa (figura 2a), mientras que la 3015 se observó orientada paralela a la laminación (figura 2b). Se propone que a temperaturas menores la saturación de la matriz mineral es menor y el bitumen generado ocupa las zonas de porosidad y permeabilidad en la roca, que en este caso corresponden a los planos de la laminación. A altas temperaturas se produce una mayor saturación de bitumen en los poros de la roca fuente. En las rocas 5004 y 5005, se realizaron experimentos de generación a diferentes temperaturas, y a las mismas condiciones de temperatura de expulsión (tabla 1), donde 5004 presentó la MO dispersa (figura 3a) y 5005 acumulada en fracturas (figura 3b). Lo anterior se atribuye a la mayor temperatura de generación aplicada a 5005, que produce una mayor saturación de bitumen en las fracturas de la roca.

Efecto del tiempo

Se realizó un experimento de generación y expulsión con una duración de 15 días, correspondiente a la muestra 3031 (tabla 1). Este se comparó con el resto de las muestras, cuyos experimentos se realizaron en 72 horas. De acuerdo a las características petrográficas, no existen diferencias que permitan establecer experimentalmente el efecto de los tiempos utilizados sobre el proceso de migración y expulsión del bitumen. Sin embargo, debido a que únicamente se compara el experimento realizado en 15 días, con los de 72 horas, no se tienen evidencias significativas, de que no existan diferencias en función del tiempo.

