

INTERPRETACIONES PALEOAMBIENTALES DE SECUENCIAS DEL TERCIARIO POR PARÁMETROS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS. CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Karla Quintero, Guillermo Lo Mónaco., Liliana López., Salvador Lo Mónaco., Patricia Lugo., Gastón Escobar. Universidad Central de Venezuela. Ander De Abrisqueta, Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela. Wolfgang Kalkreuth., Maria do Carmo Ruaro Peralba y Noelia Franco, Universidad Federal do Rio Grande do Sul.*

Resumen

Se analizaron lutitas del Terciario de la Cuenca Oriental de Venezuela, que incluyeron composición SARA, biomarcadores, pirólisis Rock Eval, interpretaciones bioestratigráfica y microscopía electrónica (EPMA y MEB), con el objeto de realizar interpretaciones paleoambientales del ambiente de sedimentación. A partir de los resultados se pudieron definir tres ambientes de sedimentación a lo largo de la secuencia estratigráfica estudiada, los cuales fueron originados por pequeñas oscilaciones del nivel del mar, dando lugar a ciclos transgresivos y regresivos, de aguas dulces a salobres, pertenecientes a un sistema deltaico, que regresaba hacia fases pantanosas de ambientes terrestres.

Summary

Shales of the Tertiary sequence from the Eastern Venezuelan Basin were analyzed, the result included SARA composition, biomarkers, pyrolysis Rock-Eval, biostratigraphic interpretations and electronic microscopy (EPMA and MEB), with the object to making paleoenvironmental interpretations of the sedimentation conditions. From the results the stratigraphic sequence could be defined, which were originated by small oscillations in the sea level, giving rise to transgressive and regressive cycles, of fresh waters to brackish waters, in a deltaic environment, that returned towards marshy phases of terrestrial environments.

Introducción

La Cuenca Oriental de Venezuela tiene una longitud aproximada de más de 800 km en dirección Este-Oeste con un ancho promedio de 200 km entre los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas, Delta Amacuro y Sucre (Mendoza, 2005).

A profundidad, la secuencia Terciaria descrita a continuación fue estudiada por De Sisto, (1972) quien describió al Grupo Merecure (formaciones Naricual, Los Jabillos y Areo), indicando equivalencia con las formaciones Naricual y Los Jabillos en la región, y la ausencia de la Formación Areo. Sin embargo, Campos et al. (1985) la describieron con el nombre de Formación

Merecure, que es subyacente a las formaciones Las Piedras, Capaya u Oficina, y suprayace a la Formación Caratas.

De esta manera la sección estudiada consiste principalmente de areniscas masivas, intercalas con lutitas y estratos de lignito (LEV, 1997). En términos de producción, la sección en conjunto fue considerada no productora, exceptuando algunos yacimientos del Grupo Merecure. Sin embargo, Torrealba (2002) mediante la caracterización de la fracción de arcillas y sus rangos de estabilidad, pudo determinar que la sección se encuentra en una etapa de diagénesis temprana con una temperatura menor a 150°C, y en función a descripciones litológicas, mineralógicas y orgánicas, comprobó que los intervalos lutíticos poseen concentraciones de carbono orgánico total (COT) que permiten identificarlos como posibles rocas fuente de petróleo, y que a su vez pudieron contribuir a la generación de hidrocarburos en la Cuenca Oriental de Venezuela y en la sub-cuenca de Maturín.

A pesar de los estudios previos, aún se desconoce, si algunos estratos de lutita asignados al Grupo Merecure, pudieron haber generado hidrocarburos y más aún las condiciones paleoambientales que imperaron durante su proceso de sedimentación, es por ello que el objetivo de este trabajo es realizar interpretaciones acerca de las condiciones y características del ambiente de sedimentación en rocas del Terciario dentro de la Cuenca Oriental de Venezuela, haciendo uso de parámetros de caracterización orgánicos e inorgánicos.

Teoría

Los parámetros geoquímicos usados para determinar las características de rocas fuente de petróleo y carbones (origen, ambiente de sedimentación y madurez), incluyen en la mayoría de los casos, el enfoque orgánico, realizado mediante el uso de la geoquímica orgánica a través de la interpretación de la distribución de n-alcanos, isoprenoides y biomarcadores presentes en la fracción de hidrocarburos saturados y marcadores dentro de la fracción de hidrocarburos aromáticos extraídos del bitumen de la roca fuente o de carbones. Junto con pirólisis Rock-Eval, que es un método desarrollado para evaluar el potencial de generación de hidrocarburos de las rocas fuente y carbones

Interpretaciones paleoambientales en rocas del Terciario de la COV

pulverizados, del querógeno y de los asfaltenos; basado en el calentamiento progresivo de las muestras y la posterior cuantificación de los compuestos orgánicos adsorbidos y craqueados que son liberados a diferentes temperaturas. La pirólisis de roca total provee parámetros que indican cantidad, tipo y madurez de la materia orgánica, como el índice de hidrógeno (IH), índice de oxígeno (IO), carbono orgánico total (COT) y temperatura máxima de generación de hidrocarburos (T_{máx}).

Un biomarcador o marcador biológico, es aquel compuesto encontrado en la materia orgánica de sedimentos, rocas o crudos cuya estructura puede ser relacionada con un compuesto orgánico presente en los organismos que le dan origen, como las plantas superiores, fitoplancton, zooplancton y bacterias. La estructura de un biomarcador debe ser lo suficientemente estable como para permanecer con pocos cambios durante los procesos de diagénesis y catagénesis de la materia orgánica (Peters et al., 2005).

Para analizar biomarcadores es necesario extraer el bitumen de la roca fuente o del carbón y separarlo en sus fracciones constituyentes, para luego analizar las fracciones de hidrocarburos saturados y aromáticos en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas.

El análisis elemental es una herramienta muy útil en el estudio de rocas e hidrocarburos. Por medio de estos análisis se puede determinar la concentración generalmente expresada en porcentaje en peso de especies químicas tales como C, S, H, N, y O (por diferencia). La concentración de S en rocas es una medida de las condiciones sulfato reductoras del ambiente de sedimentación.

Por último las interpretaciones bioestratigráficas de muestras de roca permiten ubicar o establecer biozonas dentro de la secuencia en estudio, a través de la combinación de un grupo de fósiles con caracteres particulares (Salvador, 1994). Dentro de las aplicaciones de la bioestratigrafía en muestras de interés geoquímico y geológico se pueden mencionar, establecimiento y definición de biozonas que permitan conocer la edad de las formaciones geológicas, interpretaciones paleoambientales basadas en los rangos de estabilidad de diferentes microorganismos, correlación de estratos e identificación de formaciones, volviéndose una herramienta de gran ayuda en aquellas formaciones cuyos límites estratigráficos no estén completamente definidos.

Desde el punto de vista inorgánico, los parámetros generalmente analizados consisten en la caracterización de la mineralogía y litología en general de las rocas, con miras al establecimiento de interpretaciones que permitan discernir las condiciones del ambiente de sedimentación. La técnica de microsonda electrónica para el análisis de

rayos X característicos permite identificar la composición elemental de una muestra determinada, y relacionarla con fases mineralógicas y por ende las asociaciones de elementos minoritarios y traza. Para rocas con materia orgánica, se puede identificar las asociaciones elementales con facies orgánicas (querógeno y bitumen) e inorgánicas (minerales). Con esta técnica utilizando un haz de electrones enfocados, se generan rayos X sobre una sección de la muestra, así, es posible obtener imágenes en diferentes intensidades de colores, que indican la proporción del elemento.

La técnica de microscopía electrónica de barrido puede ser usada en la caracterización de rocas porque permite entre otras cosas, observar la morfología mineral de arcilla, y así determinar posibles relaciones texturales.

Métodos

En este trabajo fueron analizadas quince muestras de roca de un núcleo de una secuencia del Terciario de la Cuenca Oriental de Venezuela. Doce de ellas se escogieron para la caracterización de la fracción orgánica (1 caliza, 1 carbón y 10 lutitas). Las concentraciones de carbono total (Ct), carbono orgánico total (COT), carbono carbonático, azufre y bitumen fueron realizados en trabajos anteriores Torrealba (2002^a; 2002^b; 2003).

La cuantificación de los constituyentes del bitumen (composición SARA) se realizó por precipitación de los asfaltenos (1:40 bitumen: n-heptano) y separación de los maltenos por cromatografía de adsorción en columna (alumina neutra), los hidrocarburos saturados fueron eluidos con n-hexano, los aromáticos con tolueno y las resinas con una mezcla de tolueno-metanol (70:30). Posteriormente las fracciones de hidrocarburos saturados y aromáticos del bitumen fueron sometidas al análisis de biomarcadores en un cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-EM) marca Agilent Technologies, modelo 6890N Network CG System, 5975N Inert Mass Selective Detector.

La madurez y tipo de materia orgánica se determinó por pirólisis Rock-Eval y mediante el estudio de los biomarcadores de las fracciones de hidrocarburos saturados y los marcadores aromáticos.

La bioestratigrafía de las muestras se realizó a través de secciones delgadas vistas en un microscopio petrográfico marca Leica, modelo 020-522.101 DM/LSM.

Para los estudios desde el punto de vista inorgánico, cuatro muestras entre lutitas y areniscas fueron caracterizadas por medio de la Microsonda Electrónica para el análisis de Rayos - X Característicos (EPMA) marca JEOL, modelo JXA-8900R, equipado con tres espectrómetros WDX y un

Interpretaciones paleoambientales en rocas del Terciario de la COV

espectrómetro EDX. Mientras que cinco muestras de litología lutítica, se analizaron mediante la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), en un equipo JEOL JSM-5910 LV.

Resultados y discusiones

De acuerdo con la concentración de azufre, el análisis de biomarcadores, y los resultados obtenidos a través de secciones delgadas y tacos pulidos vistos al microscopio petrográfico y electrónico respectivamente, se realizaron una serie de interpretaciones que permitieron reconstruir el ambiente el ambiente de sedimentación las rocas que conforman la sección estratigráfica.

Las diferentes relaciones de área utilizadas en la fracción de hidrocarburos saturados, junto con la composición SARA del bitumen extraído (Fig. 1), permitieron determinar que el tipo de materia orgánica es predominantemente de origen terrestre, apoyado a través de los análisis de pirólisis Rock Eval.

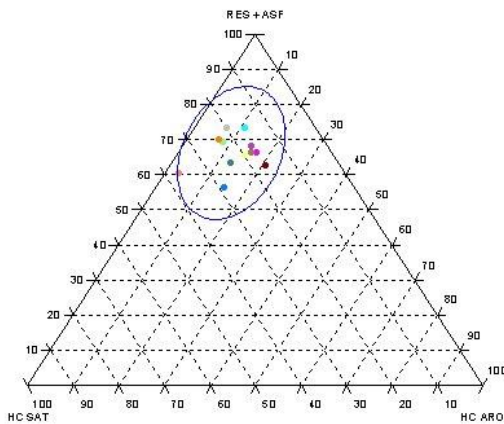


Figura 1. Diagrama ternario de la composición SARA de los bitúmenes extraídos en rocas del Terciario de la Cuenca Oriental de Venezuela.

De acuerdo con las relaciones entre isoprenoides pristano y fitano (Tabla 1), la materia orgánica fue depositada en un ambiente que mantuvo condiciones disóxicas, que de acuerdo a Tyson y Pearson (1991 en Hunt, 1995), se corresponden con un ambiente sedimentario que tuvo un contenido de oxígeno disuelto en las aguas entre 0,2 a 2 mL O₂/L H₂O, convirtiéndose en zonas aptas para acumular materia orgánica, pero también propicias para generar oxidación de parte de la masa total acumulada en el ambiente sedimentario.

Tabla 1. Relaciones de área entre isoprenoides e isoprenoides/n-alcanos (nd: no determinado).

MUESTRA	P/F	Pri/n-C ₁₇	Fit/n-C ₁₈
Caliza(1)	1,6	0,6	0,4
Lutita(2)	2,1	1,3	0,4
Lutita(3)	8,2	5,0	0,8
Lutita(4)	6,5	7,9	0,7
Lutita(5)	7,2	6,9	1,0
Lutita(6)	2,6	6,5	0,6
Lutita(7)	3,0	4,5	0,6
Lutita(8)	1,2	3,5	0,7
Lutita(9)	1,4	0,9	0,8
Lutita(10)	4,5	6,9	1,1
Lutita(11)	1,4	0,9	0,6
Carbón(12)	4,9	n.d	n.d

La figura 2 muestra los diferentes ambientes que pudieron ser propicios para la acumulación de materia orgánica. Al observar la distribución de las muestras en los tres ambientes, junto con su relación estratigráfica, y el espesor total de la columna analizado, es posible interpretar pequeñas oscilaciones del nivel del mar que permitieron generar ciclos de carácter transgresivo y regresivo, conforme fue interpretado en el LEV (1997), en donde fueron depositadas secuencias de arenisca, lutita y algunos carbonos.

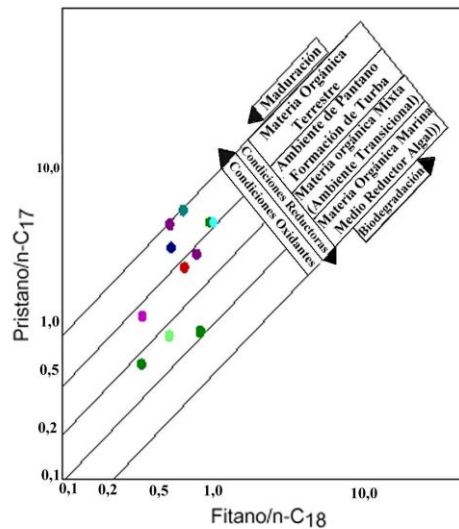


Figura 2. Relación entre isoprenoides y n-alcanos para muestras del núcleo de edad Terciaria, mostrando tipo de materia orgánica, condiciones fisicoquímicas del ambiente de sedimentación y madurez.

Interpretaciones paleoambientales en rocas del Terciario de la COV

El desarrollo del sistema, conforme fue descrito por Peirson (1965 en LEV, 1997) debió ser de aguas dulces a salobres que como se confirma en la figura 2, pertenecieron a un sistema deltaico, en donde se depositaron los sedimentos de ambientes transicionales, que regresaba hacia fases pantanosas y predominantemente de ambientes terrestres, las cuales dieron origen a la sedimentación de los carbones y secuencias de lutitas.

La alta concentración de azufre en las muestras (tabla 2), son consecuencia de la litología presente, y las condiciones fisicoquímicas que adquirió el ambiente sedimentario, en donde fue posible la asociación del sulfuro generado con los cationes de hierro y zinc principalmente para formar fases inorgánicas de sulfuros (Figuras 3a y 3b), observadas en los mapas de distribución elemental y análisis espectrales.

Tabla 2. Concentraciones de azufre en rocas del Terciario de la Cuenca Oriental de Venezuela.

MUESTRA	%S ±0,45
Caliza(1)	1,70
Lutita(2)	2,48
Lutita(3)	3,34
Lutita(4)	1,42
Lutita(5)	3,75
Lutita(6)	0,07
Lutita(7)	0,06
Lutita(8)	0,39
Lutita(9)	1,01
Lutita(10)	0,15
Lutita(11)	1,01
Carbón(12)	0,05

Las temperaturas máximas de pirólisis de 432°C, se relacionan con el proceso de ilitización, el cual deriva de la transición esmectita-illita a través de la formación de complejos intermedios del tipo arcillas interestratificadas (Lo Mónaco y López, 1999). La figura 3c, muestra una imagen de MEB en donde se observan vestigios de las arcillas expansivas tipo esmectita y arcillas tipo illita dentro de la matriz de la muestra. Este proceso continuaría hasta que desapareciera por completo la arcilla expansiva y predominara la illita completándose el proceso de ilitización. Para que este proceso ocurra se necesita un incremento en la temperatura que permita la pérdida de las moléculas de agua que se encuentran en la estructuras de las arcillas, comenzando por la pérdida de capas de esmectita debido a la deshidratación y la posterior sustitución por K⁺, lo que conlleva a la pérdida de expansibilidad típica de las esmectitas (Lo Mónaco y López, 1999). Las observaciones del proceso indican que

la pérdida de capas esmectitas no ocurre constante respecto a la profundidad, sino que ocurre a intervalos definidos y de poco espesor relativo (Lo Mónaco y López, 1999).

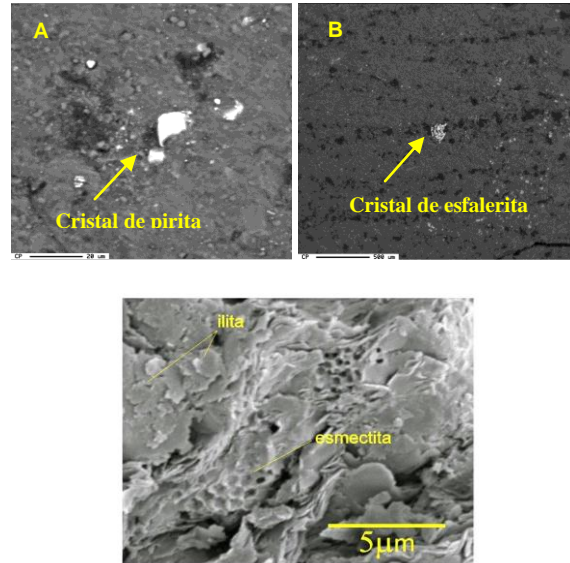


Figura 3. (A) Imagen COMPO de una matriz lutítica con cristales de pirita. (B) Imagen COMPO de una matriz lutítica con cristales de esfalerita. (C) Evidencia de arcillas interestratificadas esmectita-illita en las lutitas.

Las descripciones paleoambientales, junto con la ausencia de fósiles presentes en la muestras del núcleo, permiten definir que el intervalo estudiado pertenece a la Formación Naricaul, el cual en la mayoría de los casos es descrito en el subsuelo de la Cuenca Oriental de Venezuela como Formación Merecure. Esto como consecuencia de no poder definir la transición entre las formaciones del grupo Merecure y a la ausencia en el subsuelo de la Formación Areo.

Conclusiones

Las interpretaciones paleoambientales, permiten definir tres ambientes en donde posiblemente fueron sedimentadas las muestras del núcleo, originados por pequeñas oscilaciones del nivel del mar que permitieron generar ciclos de carácter transgresivo y regresivo, de aguas dulces a salobres, pertenecientes a un sistema deltaico, en donde se depositaron los sedimentos de ambientes transicionales, que regresaba hacia fases pantanosas y predominantemente de ambientes terrestres, las cuales dieron origen a la sedimentación de los carbones y lutitas.

Interpretaciones paleoambientales en rocas del Terciario de la COV

Por su parte, los minerales tipo arcilla de las muestras de lutita están visiblemente alterados, principalmente debido a la pérdida de agua de sus estructuras a causa de la temperatura y la presión durante el soterramiento y la madurez de la roca. Aunque aun se pueden reconocer ya que conservan rasgos y evidencias de su morfología original.

Agradecimientos

Los autores agradecen por el financiamiento otorgado a los proyectos FONACIT (PI-2006000213), CNPQ (PI-2002000213) y TOTAL-LOCTI. Así mismo a PDVSA por la donación de las muestras para este estudio.

Referencias

Campos, V., Lander, R., De Cabrera, S., 1985, Evolución estructural en el noreste de Anzoátegui y su relación con el norte de Monagas. Memorias VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas 4, 2397 – 2414.

De Sisto, J., 1972, Geología del campo La Vieja. Memorias IV Congreso Geológico Venezolano., Caracas 5(5), 2572 – 2592.

Hunt, J. M., 1995, Petroleum Geochemistry and Geology. Second Edition. W. H. Freeman and Company, p. 743.

Léxico Estratigráfico de Venezuela., 1997, Comité Inter. Filial de estratigrafía y nomenclatura (CIEN) PDVSA-INTEVEP, en CD. Caracas- Venezuela.

Lo Mónaco S., López L., 1999, Minerales de arcilla como indicadores de madurez térmica en rocas fuentes de petróleo, revista de la Sociedad Venezolana de Química 22,4,27 – 34.

Mendoza, V., 2005, Cretácico, Terciario y Reciente sedimentario de Venezuela. Tomo II. Geología de Venezuela. 68p.

Peters, K., Walters, C., Moldowan, J., 2005, The Biomarker Guide. II. Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History. Second Edition. Cambridge University Press, p. 1155.

Salvador, A., 1994, International Stratigraphic Guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. Second Edition. The Geological Society of America, p. 214.

Torrealba, J., 2002^a, Caracterización geoquímica de las arcillas de la Formación Carapita. Cuenca Oriental de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra. Escuela de Química. Facultad de Ciencias, U.C.V.

Torrealba, J., Lo Mónaco, S., Olivares, C. y López, L., 2002^b, Caracterización geoquímica de las arcillas de la Formación Carapita, Cuenca Oriental de Venezuela. II Jornadas de Geoquímica, PDVSA EPM. Caracas,

Torrealba, J., Lo Mónaco S., López L., 2003, Distribución de minerales de arcilla, COT, St y bitumen en el pozo La Vieja VZ-1X cuenca Oriental de Venezuela (Mioceno Temprano-Oligoceno). VI Congreso Venezolano de Química. Universidad de Margarita (UNIMAR), estado Nueva Esparta.