

Caracterización diagenética de la Formación La Luna, en la sección de la Quebrada Chiriría, Estado Táchira, Venezuela

Diagenetic characterization of La Luna Formation in the Quebrada Chiriría section, Táchira State, Venezuela

D. Dos Santos, G. Soto, E. Zapata y V. Padrón

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. daniel dossantos@hotmail.com, gilbertosoto@cantv.net, eglee.zapata@exite.com y victor.padron@iespana.com

ABSTRACT

La Luna Formation in the Quebrada Chiriría section is constituted by calcareous shales and limestones of dark colors with siliceous and phosphatic intervals. This paper is based on a diagenetic study of thin sections (196) through microscope of polarized light supported by electronic microscopy (BSE, SE) and geochemical tools (CaCO_3 , COT, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ and elementary relationships).

Key words: Diagenesis, Luna Formation, Venezuela.

Geogaceta, 33 (2003), 139-142
ISSN:0213683X

Introducción

La Formación La Luna en el occidente Venezuela se extiende desde la región de la Guajira al oeste, hasta la depresión de Barquisimeto al este y hasta la depresión del Táchira hacia el sur. Esta formación ha sido ampliamente evaluada por su condición de principal roca madre de hidrocarburos y por su capacidad generadora.

El área de estudio se encuentra ubicada al suroeste de los Andes Venezolanos, específicamente en el oeste del Estado Táchira, cuatrocientos metros al sur de la población de San Pedro del Río, en la Quebrada Chiriría (Fig. 1).

Mediante el muestreo detallado en superficie, a intervalos de 25 cm, se recolectaron un total de 222 muestras de roca, de las cuales se prepararon para la evaluación petrográfica un total de 196 secciones delgadas de roca con la finalidad de observar las variaciones diagenéticas a lo largo de toda la sección. Aplicando técnicas de microscopía bajo luz polarizada y apoyadas con técnicas de microscopía electrónica (BSE y SE) se evaluó la condición de los diferentes procesos diagenéticos asociada a los carbonatos lodosos de la Formación La Luna.

A través de un análisis geoquímico de 56 muestras de roca (intervalo de muestreo: 1 metro), se complementaron las descripciones realizadas durante el análisis petrográfico, determinándose la

incidencia de la diagénesis sobre parámetros geoquímicos (carbonato de calcio, elementos traza, mayoritarios, minoritarios, isótopos de oxígeno y carbono), y se interpretaron patrones ambientales y deposicionales.

Litoestratigrafía y Sedimentología

La Formación La Luna en el Occidente de Venezuela, en la sección de la Quebrada Chiriría, posee un espesor real de 64 metros. Se caracteriza por la presencia de calizas y lutitas calcáreas de colores oscuros, siendo frecuentes niveles de concreciones a lo largo de toda la sección, con horizontes fosfáticos y silíceos hacia el tope.

La parte basal corresponde a lutitas calcáreas intercaladas con capas delgadas de caliza. La zona intermedia presenta intercalaciones de capas de calizas, lutitas calcáreas y escasos cherts, predominando en su parte superior las capas de caliza. El tope se caracteriza por la presencia de carbonatos lodosos silicificados (10 m de espesor) situados entre dos importantes niveles fosfáticos. Las concreciones son más abundantes y de mayor tamaño hacia la parte basal, disminuyendo en tamaño y frecuencia hacia la parte superior de la sección.

En esta localidad, la Formación La Luna puede dividirse en tres unidades litológicas informales. Una unidad inferior (I) constituida principalmente por

lutitas calcáreas de color oscuro con espesores máximos de metro y medio (1,5 m), intercaladas con capas delgadas de caliza, que no sobrepasan los 0,50 m, representando aproximadamente un espesor 24 m sobre la columna estratigráfica.

La siguiente unidad (II), con un espesor aproximado de 30 metros, corresponde a un intervalo de transición caracterizado por intercalaciones de capas de calizas, lutitas calcáreas y escasos cherts, predominando en su parte superior las capas de caliza que pueden alcanzar un espesor máximo de un metro (1 m). También es apreciable en su parte superior un intervalo de fosfato de dos metros de espesor aproximadamente.

Finalmente, la unidad superior (III) está caracterizada por la presencia de carbonatos lodosos silicificados y por un intervalo importante de fosfato con un espesor aproximado de 30 centímetros (0,30 m) que indica el tope de la secuencia. A lo largo de la columna estratigráfica esta unidad presenta un espesor aproximado de 10 metros.

Para la definición de las microfacies se tomaron en cuenta los criterios propuestos por Galea (1989) (biota y parámetros sedimentológicos) y Madrid (2001) (características texturales de Dunham), resultando en total siete microfacies principales. A partir de estos criterios se reconocieron seis de las microfacies propuestas por Galea (1989), identificadas como MF1 (wacke-packstone de fo-

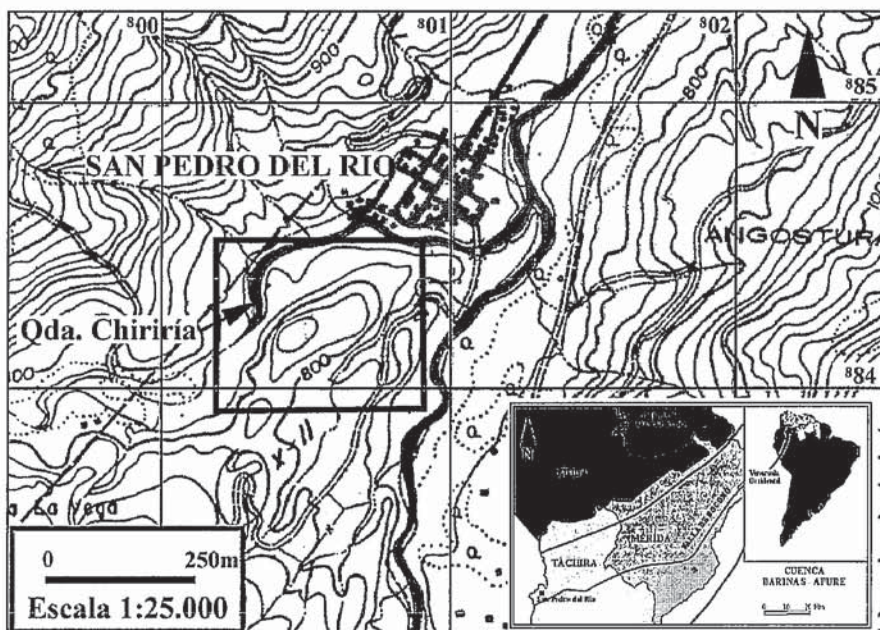


Fig. 1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fig. 1.- Location map of the study area.

raminíferos planctónicos), MF4 (wacke - packstone de foraminíferos planctónicos y restos de peces), MF5 (wacke - packstone de foraminíferos bentónicos y planctónicos), MF6 (wacke - packstone silicificado), MF7 (wacke - packstone de foraminíferos bentónicos), MF8 (wacke-packstone fosfático) y una nueva microfacies propuestas por Madrid (2001), y definida como MF2 (mudstone de foraminíferos).

Hay que destacar que la mayoría de las secciones delgadas de rocas presenta una alternancia de colores claros con colores oscuros, donde los colores claros representan acumulaciones de foraminíferos (planctónicos y bentónicos) y los colores oscuros bandas de lodo carbonático-arcilla con presencia de pocos fósiles, por eso al iniciar la descripción de las microfacies presentes se habla de secciones mixtas definidas como wacke-packstone.

Diagénesis

La matriz está constituida principalmente por lodo carbonático-arcilla y/o sílice en diferentes porcentajes, y en menor proporción materia orgánica. En términos generales supera el 50 % como constituyente de cada uno de los litotipos lodosos definidos, presentando en su coloración diferentes tonalidades marrones y en algunos casos tonos de color naranja, esta última asociada con fosfato. Bajo luz reflejada es posible apreciar su asociación con pirita. La arcilla presente en las secciones, es del tipo montmorillonita-esmectita en su fase inicial de transforma-

ción reconocida a través de microscopía electrónica del tipo SE (Fig.2.A y 2.B).

Por lo general los fósiles que no superan el 50 % de los constituyentes, son foraminíferos principalmente, que en algunos casos se encuentran dispuestos en bandas o láminas de color claro dentro de la matriz oscura. En cuanto a las asociaciones fósiles, en la base de la unidad hay predominancia de organismos planctónicos y en el tope de organismos bentónicos. La presencia de fragmentos de bivalvos y de peces es escasa y no llega a superar el 16 % de los constituyentes. La edad determinada por fauna de

foraminíferos planctónicos (Kertzus, Padrón y Truskowski, com. pers). Corresponde a Coniaciense-Campaniense sin diferenciar.

En este estudio Como material cementante, se presentan tanto el carbonato cálcico en sus diferentes modalidades (fibroso, bloque, drusa, radiaxial), como en algunos casos la sílice, barita y siderita. (Fig.2.C, 2.D, 2.E y 2.F)

Las porosidades observadas no son superiores al 4 % en cada uno de los litotipos lodosos definidos. La sección estudiada, fue afectada por una etapa de diagénesis temprana, en tres tiempos de ocurrencia. En el primer tiempo (T1) se desarrollan todos los procesos orgánicos, la cementación fibrosa y la piritización, además de iniciarse los procesos de compactación, cementación tipo bloque, neomorfismo y los procesos de silicificación y fosfatización.

Entre los procesos orgánicos se destacan los envoltorios micríticos, la formación de pellets y las horadaciones. Estos procesos diagenéticos se inician desde el primer momento en que comienza la deposición de los sedimentos. Las precipitaciones químicas orgánicas producto de la acción bacteriana originan una cobertura o envoltorio criptocrystalino en cámaras de foraminíferos y en algunos fragmentos de bivalvos. Esta cobertura primaria de calcita magnesia tiende a preservarse mientras que el aragonito se disuelve quedando así el envoltorio micrítico (Zapata, 1983).

Otros procesos orgánicos, de carácter esporádico en la sección estudiada, son la agregación de partículas sin estructura interna aparente y de forma elipsoidal (pe-

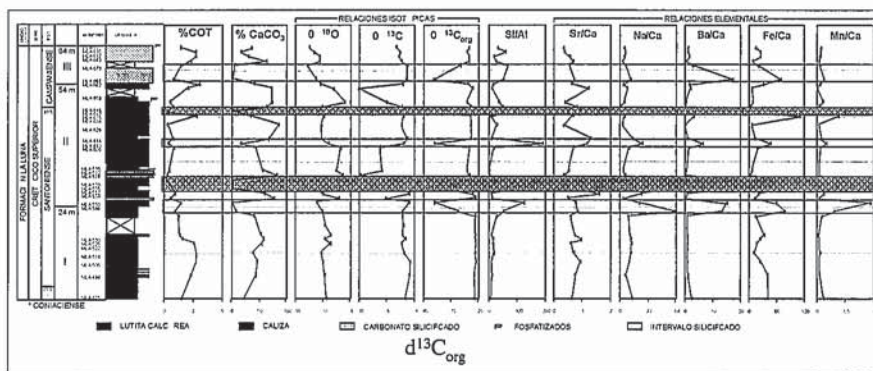


Fig. 2.- Distribución de los parámetros geoquímicos en la Formación La Luna (Sección Quebrada Chiriría). La evidente correlación gráfica, en especial de los isótopos y de las relaciones elementales, sugiere una baja incidencia de la diagénesis sobre la señal geoquímica. La presencia de intervalos silicificados (identificados con bajos valores de CaCO₃ y altos valores de Si/Al) indican una influencia hacia valores negativos en el material orgánico (COT, ¹³C_{org}).

Fig. 2.- Geochemical parameters distribution in La Luna Formation (Quebrada Chiriría Section). The good correlation between the isotopes and between the elementary relationships, suggests a low incidence of the diagenesis on the geochemistry sign. The silicified intervals (low values of CaCO₃ and high values of Si/Al) indicate an influence toward negative values in the organic material (COT, ¹³C_{org}).

llets) y la acción erosiva de organismos invertebrados (boring). Paralelamente a los procesos orgánicos se desarrollan la compactación y los cementos fibrosos y de bloque. Los procesos físicos de compactación se desarrollan durante todos los tiempos de ocurrencia de la diagénesis, generando en un principio la pérdida de fluidos y posteriormente (desde el segundo tiempo de ocurrencia, T2) una reducción parcial del espesor de los carbonatos lodosos, transformando carbonatos pobres en granos, en carbonatos ricos en granos, consolidando así los bandeamientos y generando laminaciones a lo largo de toda la sección. Entre los procesos físico-químicos carbonáticos destaca la presencia del cemento fibroso y del cemento "bloque". El primero está asociado a las estructuras diagenéticas tempranas "cono en cono", y se sitúa dentro de las cámaras de los foraminíferos y en algunas fracturas. Después de iniciados todos los procesos antes descritos, comienzan a desarrollarse el neomorfismo, la piritización (ambientes anóxicos), la fosfatización y la silicificación (ambientes disóxicos). El neomorfismo conduce a una estabilización de la estructura cristalina de los fragmentos de bivalvos (sin alterar su composición original), en un primer momento de tipo homoaxial y posteriormente heteroaxial (la más predominante en la sección estudiada). En ambientes diagenéticos altamente reductores comienzan a manifestarse los procesos de reemplazo por sulfuro de hierro, conocidos como piritización. Mientras que en ambientes disóxicos, producto de la degradación bacteriana de la materia orgánica en presencia de arcilla

montmorillonita (ricas en Si y P), comienzan a desarrollarse los procesos de silicificación y fosfatización.

En el segundo tiempo de ocurrencia de la diagénesis (T2) se desarrolla la cementación de tipo drusa, se inicia la cementación de carbonato de hierro (siderita) y continúan los procesos de compactación, neomorfismo, fosfatización, silicificación y cementación tipo bloque. La cementación tipo drusa está asociada a la porosidad del tipo vug producto de la pérdida de fluidos durante la compactación. El otro tipo de cementación es la del carbonato de hierro o siderita que se presenta asociado a ambientes anóxicos no sulfurosos (metánico).

Finalmente, en el tercer tiempo de ocurrencia de la diagénesis (T3), se desarrolla el cemento de sulfato de bario, las fracturas extensivas y continúan los procesos de compactación, fosfatización, silicificación y cementación de carbonato de hierro (siderita).

Influencia de la Diagénesis en los Patrones Geoquímicos

Cambios en la relativa abundancia de metales como Sr, Fe, Mn, Na y Ba (con respecto al contenido de calcio) con un incremento en el contenido carbonático, pueden ser usados para evaluar la diagénesis de carbonatos. Bralower et al., (1997) estudiaron el grado diagenético que afecta a los fósiles basándose en las relaciones elementales Sr/Ca, Na/Ca, Ba/Ca, Fe/Ca y Mn/Ca.

La aplicación de estos parámetros geoquímicos en muestras de rocas de la Formación La Luna en la Quebrada

Chiriría permitió observar los siguientes aspectos:

- La existencia de una buena tendencia de correlación entre todas estas relaciones elementales (en comparación con Sr/Ca), especialmente en los intervalos más carbonáticos.

- La existencia de intervalos silicificados que se observan claramente resaltados en todas las relaciones elementales, la cual permite establecer parámetros de correlación y de identificación de estos eventos.

Estos resultados permiten inferir la presencia de una baja incidencia de la diagénesis en la señal geoquímica que impida la interpretación de los datos obtenidos, aún en la presencia de los intervalos silicificados. La variación de la señal isotópica no solo depende de factores ambientales y deposicionales, sino que también puede verse afectada posteriormente por procesos diagenéticos tales como altas temperaturas durante el enterramiento o fuertes procesos de recristalización. Los bajos valores registrados en los isótopos de la sección estudiada son comunes en rocas carbonáticas marinas (en diagénesis temprana) que están asociados a la presencia de materia orgánica en condiciones anóxicas. No existe evidencia de una fuerte alteración de la señal isotópica. Esto se puede comprobar en la existencia de una buena correlación entre los isótopos de oxígeno y carbono (Fig.3), y en la buena correlación entre estos y la litología expresada en el contenido de carbonato de calcio.

En este trabajo no se determinó el grado de madurez que sufrió la materia orgánica, pero los resultados obtenidos en

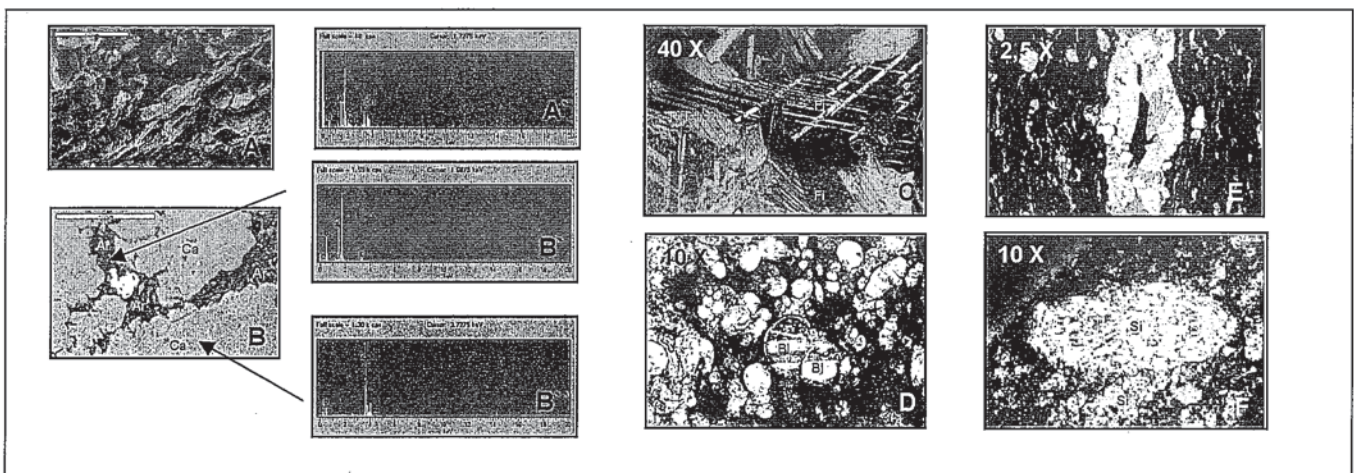


Fig. 3.- Diagénesis. A y B: Imágenes SEM con tipos de matriz (montmorillonita; carbonática-arcillosa, respectivamente) y su composición química (EDS). C, D, E y F: Tipos de cementos (fibroso, bloque, drusa y de sílice, respectivamente).

Fig. 3.- Diagenesis. A and B: SEM images with types of matrix (montmorillonite and carbonate-shaly matrix respectively), and its chemical composition (EDS). C, D, E and F: Types of cements (fibrous, blocky, druse and silica respectively).

algunas relaciones geoquímicas permiten suponer una cierta influencia de la diagénesis en el contenido orgánico. Esto solo se puede observar en las muestras de rocas que ofrecen señal de haber sido afectado por procesos de silicificación, ya que las demás muestras de rocas poseen una "buena relación" entre la litología, el carbonato de calcio y el contenido de materia orgánica. La presencia de materia orgánica en una roca parece verse disminuida por la presencia de procesos diagenéticos de silicificación. Mediante los análisis petrográficos se observaron que los procesos de silicificación extensivos (que afectan a foraminíferos y/o la matriz) están relacionados con una fuerte respuesta en la relación geoquímica de carbono 13 orgánico, además de valores bajos (Fig.3) en el contenido de COT (Carbono Orgánico Total). La presencia necesaria de materia orgánica para iniciar los procesos de silicificación y la presencia de altos valores de bario (Ba) relacionados con paleoproduktividad primaria no parecen concordar con los bajos valores de COT registrados. Al realizar una comparación entre la relación de Si/Al y las relaciones de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ (Fig.3), se observa que altos valores de Si/Al coinciden con los valores más bajos (anómalos) en estos isótopos.

En este estudio se sugiere un origen diagenético de la sílice asociada con la presencia de arcilla montmorillonita/esmectita, por lo que la relación Si/Al, en este caso, refleja procesos de silicificación extensiva. Los altos valores en la relación de Si/Al pueden ser utilizados como diagnóstico de la presencia de procesos de silicificación en las rocas.

Discusión

Los sedimentos lodosos carbonáticos estudiados, están constituidos por arcilla

del tipo montmorillonita, lodo carbonático y materia orgánica. Se puede considerar que la mayoría de las evidencias diagenéticas de la Formación La Luna en la sección de la Quebrada Chiriría, indican una diagénesis temprana manifestada principalmente por los procesos de piritización, fosfatización, silicificación y los diferentes tipos de cementos encontrados. El análisis geoquímico de las rocas estudiadas descarta la incidencia de una diagénesis que impida la interpretación de los datos obtenidos, aún en la presencia de los procesos de silicificación. La buena relación existente entre todos los parámetros químicos en comparación con el CaCO_3 , y la buena correlación existente entre los isótopos y entre las relaciones elementales, sugiere una baja incidencia de la diagénesis sobre la señal geoquímica.

El primer intervalo (I), correspondiente a la sección basal, muestra litologías margosas (lutitas calcáreas), siendo petrográficamente de carácter lodoso, con presencia de piritita y con baja presencia de foraminíferos bentónicos. También posee altos valores de COT junto a valores isotópicos considerados de ambientes anóxicos. Estas características permiten sugerir la existencia de un ambiente de deposición transgresivo con condiciones de fondo restringidas y anóxicas (sulfurosas), con una alta productividad orgánica superficial. Este intervalo coincide con el evento anóxico oceánico global OAE3 registrado durante el Cretácico Tardío (Coniaciense-Santonense).

El segundo intervalo (II) que corresponde a la parte intermedia de la sección estudiada, está formado por calizas intercaladas en menor proporción con lutitas calcáreas y cherts. Petrográficamente son carbonatos lodosos, con notable presencia de foraminíferos bentónicos y con

episódicas laminaciones silicificadas. Muestra valores bajos de COT y valores isotópicos indicativos de una mejor oxigenación con respecto a los otros intervalos. Este intervalo representa un cambio ambiental a condiciones menos restringidas, de mejor oxigenación de las aguas de fondo favorecidas posiblemente por una somerización (o regresión).

El tercer y último intervalo (III) representa una etapa donde carbonatos lodosos fueron afectados extensivamente por procesos diagenéticos de silicificación. Se produjeron condiciones de mejor oxigenación en el fondo (presencia de abundantes foraminíferos bentónicos) posteriores a episodios de abundante productividad orgánica en condiciones anóxicas. La descomposición de la materia orgánica y los procesos de litificación crearon las condiciones necesarias para los procesos de silicificación posteriores.

Referencias

- Bralower, T. J., Fullagar, P.D., Paul, C.K., Dwyer, G.S. y Leckie, R.M. (1997): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 109: 1421-1442.
- Dunham, R.J. (1962): En, Ham W.E. (ed.). *Classification of carbonate rocks: A.A.P.G. Mem.*, 1: 108-121.
- Galea, F. y Alvarez, P. (1989): En, Spalletti, L.A., (ed.). *Contribuciones de los Simposios sobre el Cretáceo de América Latina. Parte A: Eventos y registro sedimentario. Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina: 577-673.*
- Madrid, I. (2001): *Caracterización Bioestratigráfica por métodos petrográficos de la Formación la Luna, sección Flor de Patria en el occidente de Venezuela, estado Trujillo. T.E.G.*, 169pp. inédito.
- Zapata, E. (1983): *Manual de Petrografía y Diagénesis de rocas carbonáticas. GEOS*, 28:3-139.