

# Identificación de Tractos Sedimentarios en sedimentos pelágicos mediante métodos geoquímicos. Formación La Luna, Occidente de Venezuela

Identification of Systems Tracts in Pelagic Sediments by Geochemical Methods. La Luna Formation, Western Venezuela

G. Soto, E. Zapata y V. Kertzus

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica.  
gilsoto\_gonzalez@yahoo.com; eglee.zapata@excite.com; vanekertz@hotmail.com

## ABSTRACT

An integrated study of the geochemistry, sedimentology and biostratigraphy of two outcrop sections of the La Luna Formation in Western Venezuela was carried out to determine the eustatic changes that influenced the deposition and preservation of anoxic sediments in the Late Cretaceous.

Five (5) depositional sequences within the La Luna Formation were identified in the studied outcrop sections (Las Hernández and San Miguel) by shifts in  $^{13}\text{C}$  stable isotopes, as well as in  $\text{CaCO}_3$ , Si, and Ti elemental content (normalized to Al).

Transgressive system tracts (TST) are characterized by heavier values in  $^{13}\text{C}$  isotopes, lower  $\text{CaCO}_3$ , and higher content of TOC. During these periods the values of Si/Al and Ti/Al show an increasing trend and reach their highest peaks at the maximum flooding surfaces (MFS). Highstand system tracts (HST) are characterized by high contents of  $\text{CaCO}_3$ , and a shift towards lighter values of  $^{13}\text{C}$  isotopes. The sequence boundaries (SB) are evidenced by a rapid shift in the  $^{13}\text{C}$  isotopes (from lighter to heavier values) and by the geochemical contrast between the HST and the TST.

The identified systems tracts (Turonian-Campanian), clearly correspond with the Haq et al (1988) global sea-level change curve.

Key words: geochemistry, cretaceous, sea-level change, anoxic sediments.

Geogaceta, 39 (2006), 7-10  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La Formación La Luna es ampliamente reconocida como roca madre por excelencia de hidrocarburos en el occidente de Venezuela. Su origen se encuentra asociado a condiciones ambientales/deposicionales anóxicas que prevalecieron durante el Cretácico, y que pueden ser correlacionadas con otras regiones del mundo.

Es el objetivo de este estudio, mediante la herramienta geoquímica, identificar las posibles variaciones del nivel del mar (y sus tractos sedimentarios) que puedan haber incidido en la deposición de sedimentos anóxicos (lutitas y calizas oscuras) de la Formación La Luna y su correlación con cambios regionales o globales.

Para cumplir con estos objetivos se estudiarán dos secciones de la Formación La Luna (Las Hernández y San Miguel) aplicando la quimioestratigrafía (integrado con sedimentología y bioestratigrafía) y tomando en cuenta la curva global del

nivel del mar de Haq (1988) y los trabajos de Jarvis (2001, 2002).

## Antecedentes

La sedimentación Cretácica del Occidente de Venezuela se desarrolló en una cuenca de margen pasivo. La presencia de intervalos anóxicos como la Formación

La Luna suele asociarse principalmente a las características de dicha cuenca. Esta presentó un paleorelieve irregular (con barreras paleogeográficas) que originó diferentes zonas con distinta circulación, poco intercambio de aguas entre sí y diferente aporte sedimentario. Por tanto, se establecieron zonas de mayor profundidad (surcos) con características



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

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

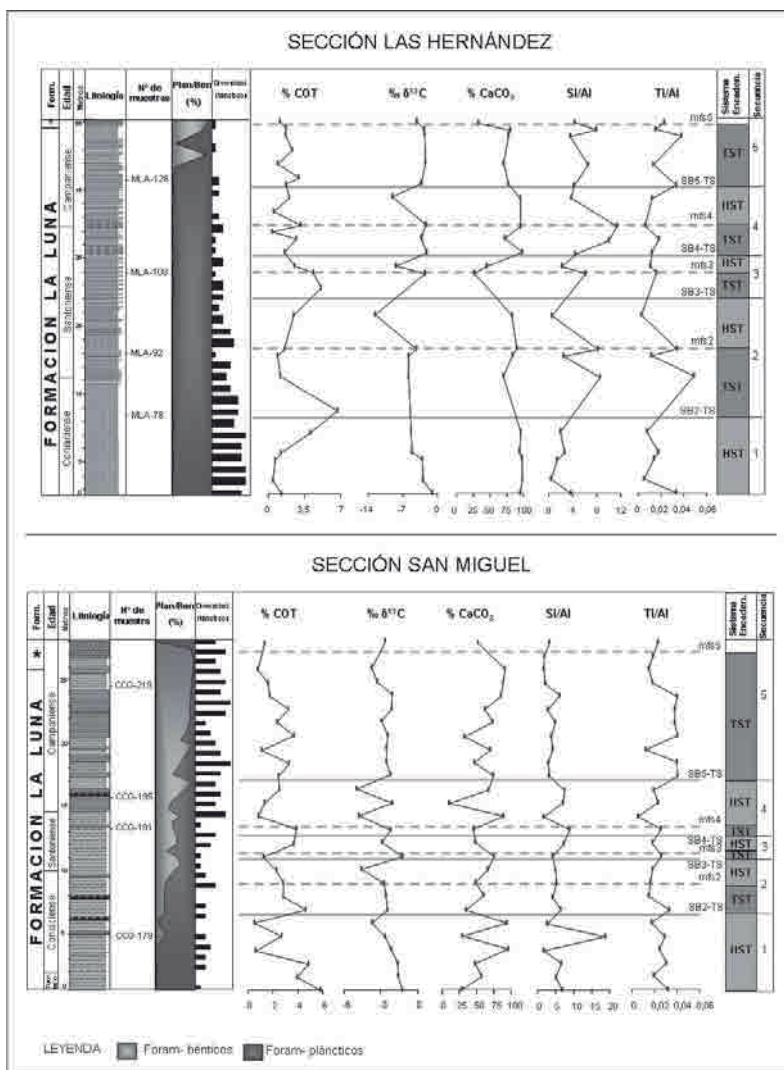


Fig. 2.- Modelo estratigráfico representativo del sistema de secuencias asociado al depósito de las secciones Las Hernández y San Miguel, integrando la información sedimentológica (textura y composición), bioestratigráfica y geoquímica (COT,  $\delta^{13}C$ ,  $CaCO_3$ , Si/Al, Ti/Al).

Fig. 2.- Sequence stratigraphic model for the Las Hernández and San Miguel Sections established by the integration of sedimentologic (texture, composition), biostratigraphic and geochemical data (COT,  $\delta^{13}C$ ,  $CaCO_3$ , Si/Al, Ti/Al).

litológicas y paleoambientales bien definidas, que han sido denominadas como subcuencas (García Jarpa, 1980).

Otros autores han observado que estas características deposicionales en la cuenca cretácica venezolana pueden estar asociadas con eventos globales.

Lugo y Mann (1995) establecen la existencia de tres transgresiones registradas en la base de la Formación La Luna, en la Formación Navay (base del Miembro La Morita) y en el Miembro Tres Esquinas, cuyas superficies de máxima inundación (mfs) son coincidentes con la curva de Haq (1988) respectivamente).

En un estudio (Erlich, 1999) sobre los ambientes deposicionales, geoquímica y paleoceanografía del occidente de Venezuela durante el Cretácico superior, se señala la existencia de cuatro eventos trans-

gresivos que se produjeron en el Albaniense tardío-Cenomaniense, Cenomaniense-Turonense, Coniaciense-Santonense y Campaniense-Maastrichtiense respectivamente.

Davis y Pratt (1999) realizan un estudio de la concentración de carbono orgánico y de elementos mayoritarios y trazas en el núcleo Alpuf-6 (ALP-6), en la Formación La Luna, en el occidente de Venezuela. Las variaciones geoquímicas observadas reflejan una influencia combinada de cambios relativos del nivel del mar, volcanismo episódico, variaciones en la intensidad de los *upwelling*, y alteraciones geoquímicas.

En secciones de afloramientos de la Fm. La Luna en los Andes Venezolanos realizados por Kertzus (2002) y Zapa-

ta (2003) han observado variaciones sedimentológicas, bioestratigráficas y quimioestratigráficas que permitieron proponer varias secuencias deposicionales desarrolladas durante el Cretácico superior.

**Ubicación**

La zona de estudio comprende dos secciones de afloramiento de la Formación La Luna en el occidente de Venezuela (Fig. 1): la sección Las Hernández (en las cercanías del pueblo Las Hernández) al norte del Estado Táchira y la sección San Miguel (entre las poblaciones Mesa Bolívar y Lagunillas) al oeste del Estado Mérida.

**Metodología**

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en este estudio se realizó el levantamiento geológico de las secciones planificadas y la recolección de las muestras de rocas necesarias para los posteriores análisis de sedimentología, bioestratigrafía, diagénesis y quimioestratigrafía. El muestreo se realizó de manera sistemática cada 50 cm de afloramiento para ambas secciones.

El estudio quimioestratigráfico está basado en los análisis de carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ), carbono orgánico total (COT), isótopos estables de carbono ( $^{13}C$ ), y elementos mayoritarios y trazas (Si, Al, Ti).

Los porcentajes de  $CaCO_3$  y los isótopos estables de carbono ( $\delta^{13}C$ ) fueron obtenidos mediante la metodología de trabajo del laboratorio de espectrometría de masa de relaciones isotópicas en INTEVEP-PDVSA. También en los laboratorios de geoquímica orgánica de INTEVEP se obtuvieron a través del equipo LECO CS-244 los porcentajes de COT. Los elementos mayoritarios y trazas (%) fueron realizados mediante espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

El estudio geoquímico está basado sobre un muestreo cada metro para la sección San Miguel y de cada 2m para la sección Las Hernández (tanto en rocas calizas como en lutitas calcáreas).

**Sedimentología y Bioestratigrafía**

Las secciones Las Hernández (56 m de espesor) y San Miguel (26,5 m de es-

pesor) se caracterizan por la presencia de calizas y lutitas calcáreas de colores oscuros, con frecuentes niveles de concreciones (variado tamaños), y con niveles fosfáticos y glauconíticos hacia el techo.

En la parte inferior de ambas secciones predominan las lutitas calcáreas oscuras, siendo las concreciones más abundantes y de mayor tamaño. Hacia su parte media comienzan a predominar las calizas oscuras y se observan algunas capas de *cherts*. En su parte superior aparece un intervalo de lutitas fosfáticas y glauconíticas conocidas como Miembro Tres Esquinas.

Bioestratigráficamente, la sección Las Hernández comprende el Coniaciense (presencia de *Dicarinella concavata*), el Santoniense (aparición de *Dicarinella asymetrica*) y el Campaniense (después de la desaparición de *D. asymetrica*).

Las asociaciones de fósiles de la sección San Miguel indican una edad que abarca el Turoniense (ocurrencia de *D. primitiva*), el Coniaciense (desde aparición de *D. concavata*), el Santoniense (desde última aparición de *Whiteinella baltica*) y el Campaniense (después de última aparición de *Heterohelix moremani* hasta la presencia de la *G. havanensis*). (Kertzus, 2002).

Los análisis petrográficos (incluyendo Microscopía Electrónica) de ambas secciones determinaron la existencia de una diagénesis temprana. (Zapata, 2003).

## Geoquímica

La evaluación geoquímica de las secciones Las Hernández y San Miguel comprende el análisis de los siguientes parámetros: carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), carbono orgánico total (COT), isótopos estables de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y elementos mayoritarios y trazas (Si, Al, Ti).

- La producción de carbonatos varía como respuesta a cambios ambientales graduales, siendo la variación en la profundidad del agua el más significativo de una serie de factores ambientales tales como penetración de la luz, oxigenación, temperatura, salinidad, aportes de nutrientes y el aporte detrítico.

- La presencia de carbono orgánico en los sedimentos y rocas está controlada al menos en parte por el ambiente de deposición (anoxia) y por la abundancia o riqueza orgánica de las aguas superficiales.

- La distribución estratigráfica del  $\delta^{13}\text{C}$  es un indicativo aproximado del nivel del mar y está influenciado por la presencia de materia orgánica. Otros facto-

res que la pueden afectar son la salinidad y los cambios en la circulación oceánica.

- El contenido de sílice y aluminio en sedimentos pelágicos, está relacionado principalmente con la presencia de material arcilloso y de glauconitas (como en el Mb. Tres Esquinas). En las secciones estudiadas de la Fm. La Luna, la presencia de cuarzo (incluyendo silicificaciones) y feldspatos son muy escasos. El titanio también está asociado con las arcillas y con minerales pesados como ilmenita, rutilo, anatasa y esfena.

Se ha establecido (Jarvis, 2001) establecen un modelo para identificar secuencias estratigráficas (tractos sedimentarios) y cambios del nivel del mar a través de la Quimioestratigrafía de carbonatos pelágicos y hemipelágicos, principalmente con la combinación de isótopos estables de carbono, calcimetría y data de los elementos Si, Ti, Zr y Mn.

Según este modelo los tractos sedimentarios transgresivos (TST) poseen los mayores valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y tienen un progresivo aumento de  $\text{CaCO}_3$  y Mn. En contraste los tractos sedimentarios de alto nivel (HST) poseen bajo  $\delta^{13}\text{C}$ , alto  $\text{CaCO}_3$ , con disminución de Mn.

Las máximas superficies inundación (mfs) se caracterizan por un alto contenido de Mn y Ti (Ti/Al), los TS: bajo Mn y alto Ti.

Jarvis (2002) basándose en datos del Campaniense del norte de África y Europa indican que cambios en el perfil de carbono 13 coinciden con cambios eustáticos del nivel del mar. Las tendencias positivas (3er orden) registran gran productividad orgánica y/o preservación de materia orgánica y decrecido flujo de carbonato durante periodos de rápida elevación del nivel del mar y la inundación de la plataforma carbonática. Estas tendencias terminan debido a la caída del aporte de nutrientes e incremento de la deposición de carbonato asociado con mares epicontinentales expandidos y renovado crecimiento de plataforma carbonática durante transgresión tardía y *highstand*. Las tendencias negativas quedan son relacionadas principalmente al reabajamiento de materia orgánica marina y terrestre durante la rápida caída del nivel del mar.

## Resultados

A partir del estudio bioestratigráfico de la Formación La Luna en las localidades de estudio se obtuvo la sucesión calibrada desde el Turoniense superior hasta el Campaniense.

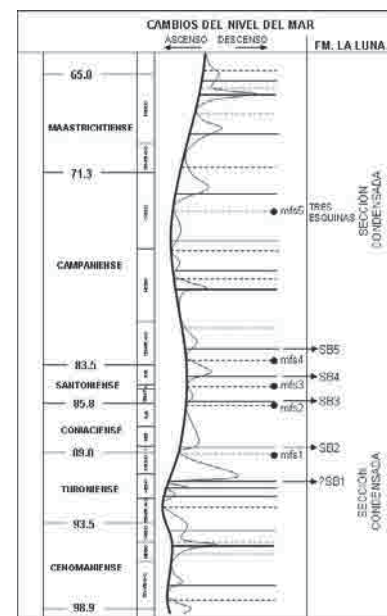


Fig. 3.- Representación gráfica comparativa del sistema estratigráfico estudiado en la Fm. La Luna (secciones de los estados Táchira y Mérida) con relación a la curva de cambios eustáticos del nivel del mar de Haq et al., (1988).

Fig. 3.- Correspondence between the identified sequence stratigraphic systems in the La Luna Formation (Merida and Tachira states) and Haq et al., (1988) global sea-level change curve.

La interpretación propuesta está basada en análisis de facies (carácter litológico, contenido de arcillas y carbonatos, presencia de minerales autigénicos, patrones de acomodación, etc.) y microfacies petrográficas (contrastes de color y textura, empaquetamiento diferencial, etc.) así como criterios paleoecológicos, correlacionados con datos de geoquímica orgánica e inorgánica, para la identificación de superficies claves y tractos sedimentarios.

La aplicación de esta metodología de Análisis Secuencial ha permitido identificar cinco (5) secuencias deposicionales en la Formación La Luna y sus tractos sedimentarios asociados (Fig. 2). En las secciones estudiadas (Las Hernández y San Miguel) los cambios en los isótopos estables de carbono 13 y en el contenido de carbonato de calcio, carbono orgánico total, silicio, aluminio y titanio han permitido proponer cuatro (4) límites de secuencia (SB) y sus respectivas superficies de máxima inundación (mfs).

Los tractos sedimentarios transgresivos (TST) se caracterizan por tener valores más pesados en los isótopos de carbono 13, menor contenido

carbonático y mayores porcentajes de COT. Durante los TST los valores de Si/Al y Ti/Al aumentan hasta lograr máximos durante el mfs.

El aumento relativo del nivel del mar conlleva a una disminución de la productividad de los carbonatos y a la formación de condiciones ideales para la preservación de materia orgánica (condiciones de fondo agotadas en oxígeno y/o mayor productividad orgánica). Estos representan los eventos de mayor anoxia durante la deposición de la Fm La Luna.

Los tratos sedimentarios transgresivos (TST), culminan con la superficie de máxima inundación (mfs), que corresponde a una sección condensada hacia la cuenca, que contiene el máximo de organismos y diversidad planctónica.

En los tratos sedimentarios de alto nivel (HST) su alto contenido de carbonato cálcico es muy característico, así como su bajo contenido orgánico (COT) y los bajos valores en los isótopos de carbono.

Durante condiciones relativamente estables del nivel mar, la producción de carbonatos es reforzada al formarse mejores condiciones ambientales durante el progreso de la somerización. Mejoras en la circulación de las aguas contribuyen a condiciones menos anóxicas (disoxia) desfavoreciendo la conservación de materia orgánica.

Los tratos sedimentarios de bajo nivel (LST) no pudieron ser identificados en las secciones estudiadas. Por tal razón se ha empleado los límites de secuencia – superficies transgresivas (términos SB-TS) para delimitar cada secuencia depositacional.

Los SB-TS están marcados por el cambio brusco en los isótopos de carbono (de valores muy livianos a muy pesados) y por los contrastes geoquímicos antes descritos entre el HST y el TST.

Estos SB-TS también fueron reconocidas por características petrográficas, relacionadas con cambios de color, empaquetamiento y contrastes texturales.

Es decir, por cambios significativos en el patrón de sedimentación.

### Discusión

Los tratos sedimentarios registrados en la Formación La Luna se desarrollaron desde el Turoniense hasta el Campaniense (Fig. 3), siendo comparables y coincidentes en tiempo con la curva global de cambios eustáticos del nivel del mar de Haq (1988).

Todos los cambios de nivel del mar de 3er orden desde el Coniaciense hasta inicios del Campaniense son registrados en las variaciones geoquímicas de las secciones estudiadas de la Formación La Luna.

Para el Campaniense resalta la deposición de un intervalo glauconítico conocido como Miembro Tres Esquinas, representativo de una típica sección condensada.

La aplicación de métodos geoquímicos ha permitido identificar cinco (5) secuencias deposicionales en la Formación La Luna, aunque no se descarta la presencia de otras secuencias durante el Campaniense tal como parece indicar los datos de la sección San Miguel.

Las tasas de sedimentación publicadas para la Formación La Luna son bajas durante el Turoniense y el Campaniense, coincidentes con máximos ascensos del nivel del mar de 2do orden. Posiblemente, debido a esta causa no es posible observar todos los cambios del nivel del mar registrados en la curva de Haq.

Estudios preliminares en geoquímica orgánica (COT, pirólisis-rockeval) y en elementos geoquímicos afectados por la presencia de materia orgánica (Zn, Cu, Cr, Mo) o indicativos de paleoproduktividad orgánica (P, Ba) en la Fm. La Luna parecen confirmar este trabajo.

Este estudio refuerza la tesis de la influencia de los cambios eustáticos del nivel del mar en la deposición de sedimentos anóxicos en la cuenca cretácica venezolana.

Así, se encontró en la quimioestratigrafía elemental, una nueva herramienta útil, para el modelaje de estratigrafía secuencial en carbonatos pelágicos y hemipelágicos, de tan difícil evaluación.

### Referencias

- Davis, C. y Pratt L. (1999). En: Barrera E. y Johnson C. (Eds.), *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System Boulder* (E. Barrera y C. Johnson, Eds). Geological Society of America, 203-230.
- Erlich, R. N. (1999). *Depositional environments, geochemistry and paleogeography of Upper Cretaceous organic carbon-rich strata, Costa Rica and Western Venezuela*. Tesis Doctoral, Univ. de Vrije, 139 p.
- García Jarpa, R. (1980). Correlación Estratigráfica y síntesis paleoambiental del Cretácico de Los Andes venezolanos. Memorias, XIV N°26, 88p
- Haq, B.U. (1998). Society of Sedimentology (1988). Special Publication, 42, 71-108.
- Jarvis, I. (2001). *Journal of the Geological Society, London*, 158, 685-696.
- Jarvis, I. (2002). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 188, 215-248.
- Kertzus, V. (2002). *Bioestratigrafía y Paleoecología de la Formación La Luna en los Andes Venezolanos*. Trabajo Especial de Grado. Univ. Central de Venezuela, 179 p.
- Lugo, J. y Mann, P. (1985). En: Petroleum basins of South America (A.J. Tankard, R. Suárez y H.J. Welsink, Eds.) Association Petroleum Geology, 62, 699-725
- Zapata, E. (2003). *Impacto de la Diagénesis en la composición isotópica de los carbonatos Cenomaniense-Campaniense de la Formación La Luna en Venezuela Occidental*. Tesis Doctoral, Univ. Central de Venezuela, 305 p.