

Identificación de ciclos solares durante el evento anóxico oceánico 3 (EAO3): formación la luna, Venezuela

Olga Rey ¹, Liliana López ², Salvador Lo Mónaco ²

¹ Universidad Central de Venezuela, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Caracas, Venezuela. e-mail: olgarey@cantv.net

² Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra, Caracas, Venezuela

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la ciclicidad reportada a escala submilimétrica en la Formación La Luna durante el Santoniense y su relación con el final del evento anóxico oceánico 3 (EAO3), mediante el uso de la microsonda electrónica EPMA, en la sección del río San Miguel, estado Mérida. Se analizaron cinco muestras pertenecientes a esta formación y a lo largo de transeptos perpendiculares a la laminación se fue obteniendo información cualitativa de los elementos químicos presentes, imágenes COMPO y mapas bidimensionales de los elementos Si, Ca, O, C, Al, K, S, Zn, Fe y P. Con el fin de analizar la ciclicidad, resultado de las variaciones en la distribución del Si y Ca, se realizaron análisis espectrales aplicando el método de Transformadas Rápidas de Fourier. La duración de los ciclos identificados permite correlacionarlos con los ciclos de Gleissberg, Hale, Schwabe y ENZO. Cambios en la posición de la paleo-zona de convergencia intertropical dieron como resultado períodos de elevada productividad orgánica alternando con períodos de elevada pluviosidad y descarga de terrígenos. Estos mecanismos no fueron responsables de la acumulación de la materia orgánica a esta escala.

Palabras clave: Santoniense, Microsonda electrónica (EPMA), Ciclicidad, Transformadas rápidas de Fourier, Paleo-zona de convergencia intertropical.

Solar cycles identification during ocean anoxic event 3 (OEA3): la luna formation, venezuela

RESUMEN

The objective of this work was to study cyclicity reported on sub-millimeter scale in the La Luna Formation during Santonian time, and its relation with the end of the anoxic oceanic event 3 (AOE3), using electron microprobe analysis (EPMA), in the San Miguel river section, Mérida state. Five samples from this formation were analyzed and throughout perpendicular transects to lamination, qualitative information of chemical elements, COMPO images and bi-dimensional maps of the elements Si, Ca, O, C, Al, K, S, Zn, Fe and P were obtained. With the intention to analyze the cyclicity result of the variations in the distribution of Si and Ca, Fast Fourier Transform method was used. The duration of the identified cycles allows correlating them with Gleissberg, Hale, Schwabe and ENZO cycles. Changes in the position of intertropical convergence paleo-zone resulted in repeated alternation of high organic productivity periods and high rainfall and terrigenous input periods. These mechanisms were not responsible of the organic matter accumulation on this scale.

Keywords: Santonian, Electron microprobe (EPMA), Cyclicity, Fast Fourier transform, Intertropical convergence paleo-zone.

Recibido: febrero de 2009 **Recibido en forma final revisado:** abril de 2009

INTRODUCCIÓN

Los sedimentos marinos laminados contienen importante información sobre la variabilidad del sistema océano-atmósfera a diferentes escalas (estacional a milenios). Particularmente aquellos sedimentos marinos laminados depositados en condiciones de *greenhouse* presentan un potencial que revela la naturaleza y amplitud de la variabilidad climática (Davis, 2006 y referencias allí citadas). Aunque la mayor información proviene de estudios de sedimentos del Holoceno (Astor *et al.* 2003; Hodell *et al.* 2001; Yu & Ito, 1999; y referencias allí citadas), se han realizado importantes progresos en la obtención de datos climáticos de alta frecuencia en sedimentos laminados de varios períodos de la historia geológica, incluyendo el Proterozoico, Paleozoico, Jurásico, Cretácico, Eoceno y Plioceno (Davis, 2006 y referencias allí citadas; Rey *et al.* 2003; Chambers *et al.* 2000; Cotillon *et al.* 2000; Algeo & Woods, 1994, entre otros). Con relación a los ejemplos de secuencias antiguas, quizás una de las unidades más ampliamente estudiada es la Formación Kimmeridge Clay (Inglaterra) del Jurásico Tardío en donde se han reconocido ciclos de manchas solares de 8 a 10 años de duración (Chambers *et al.* 2000). Otro ejemplo jurásico, es la Formación Smackover en la Costa del Golfo (USA), en esta unidad se han reportado ciclos de 12 a 24 años de duración (ciclo solar Hale) y de alrededor de 70 y 90 años (ciclo solar Gleissberg; Algeo & Woods, 1994). En Venezuela, Cotillon *et al.* (2000), en muestras de las formaciones La Luna y Querecual, reconocen ciclos de 50-70 a 60-84 años y de 110-154 a 120-168 años. Rey *et al.* (2003) identifican ciclos de 104-188 años y 48-98 años en la Formación La Luna.

Todos los ejemplos citados anteriormente tienen en común que fueron depositados en condiciones anóxicas, en donde se observan variaciones cíclicas a diferentes escalas en el contenido de siliciclásticos, carbono orgánico y carbonato de calcio. Los mecanismos que han sido propuestos incluyen cambios climáticos que dieron como resultado cambios en la productividad orgánica y en la descarga de detritos.

El objetivo de este trabajo es analizar la ciclicidad reportada a escala submilimétrica en la Formación La Luna durante el Santoniense y su relación con el final del evento anóxico oceánico EAO3, mediante el uso de la microsonda electrónica EPMA. Para ello se escogió la sección superior de esta formación que aflora en el río San Miguel, cerca del pueblo de Mesa Bolívar en el estado Mérida ([figura 1](#)).



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (1).

De acuerdo con la descripción de Rey *et al.* (2004), la Formación La Luna en esta localidad se caracteriza por la presencia de margas negras intercaladas con calizas negras, siendo común la presencia de concreciones de tamaño variable (0,30 a 1,50 m de longitud) y, en menor proporción, capas silicificadas muy delgadas con espesores entre 3 y 20 cm ([figura 2](#)). La laminación es una característica dominante a lo largo de la sección, sin embargo, hacia el tope de la unidad se observan horizontes bioturbados a nivel petrográfico, caracterizados por secciones más o menos circulares (de pocos milímetros a 1 cm de diámetro) rellenas de foraminíferos, o por la interrupción de la laminación. La edad asignada para este intervalo es Santoniense-Campaniense temprano, los valores en el contenido de carbono orgánico total (COT) reportados en esta secuencia permiten correlacionar este intervalo con el evento EAO3 (Rey *et al.* 2004).

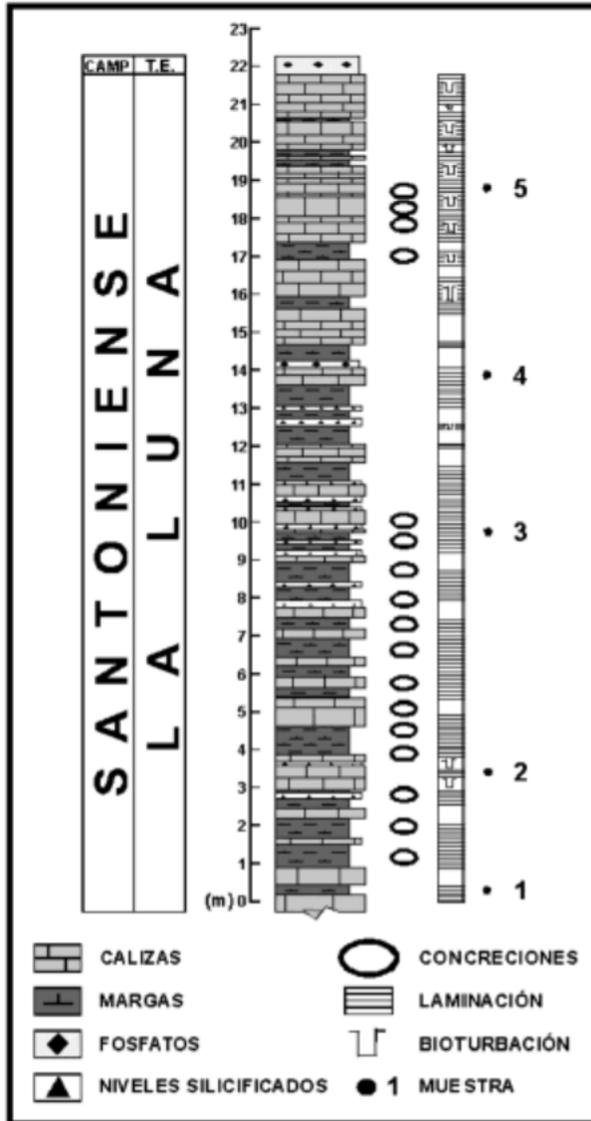


Figura 2. Columna estratigráfica de la Formación La Luna en la sección del río San Miguel (modificado de Rey *et al.* 2004). Hacia la derecha se observa la ubicación estratigráfica de las muestras analizadas en este estudio.

El evento anóxico oceánico EAO3 representa la última ocurrencia de depositación de lutitas negras durante el Cretáceo y documenta un importante paso de la transición del efecto de greenhouse durante el Cretáceo al efecto de icehouse durante el Cenozoico. Diversos autores han señalado la ocurrencia de cambios climáticos cíclicos a diferentes escalas durante este evento. Este trabajo representa un aporte al estudio de los sedimentos laminados depositados en condiciones de greenhouse y contribuirá a incrementar el conocimiento de las condiciones que prevalecieron a finales del evento EAO3 en el margen occidental de Venezuela.

MICROSONDA ELECTRÓNICA EPMA

Fundamentos

La aplicación de la microsonda electrónica (EPMA) permite determinar la distribución elemental a escala submilimétrica. El equipo posee dos tipos de detectores de Rayos X (EDX y WDX) con los que se obtienen los análisis químicos cualitativos y cuantitativos (Lo Mónaco *et al.* 2002).

La utilidad de la técnica EPMA en el estudio de muestras geológicas radica en varias razones, como son:

1. Es una técnica no destructiva en comparación con otras técnicas analíticas.
2. El límite de detección está en el orden de 50 ppm permitiendo el análisis de elementos traza; la precisión obtenida en este tipo de análisis es de $\pm 1\%$.
3. El tiempo de análisis es bastante corto en el caso de análisis puntual.
4. Se obtienen imágenes a través de electrones secundarios que permiten ver detalles topográficos no visibles al microscopio óptico (TOPO).
5. Se obtienen imágenes por medio de electrones retro-dispersados que dan una idea de variaciones composicionales en la muestra de acuerdo al número atómico promedio (COMPO).
6. La generación de mapas bidimensionales permite ver la distribución espacial de elementos mayoritarios y traza presentes en la muestra de estudio. Estos se realizan registrando la intensidad de los rayos X característicos originados al mover punto a punto el haz de electrones sobre un área rectangular de la muestra (Goldstein *et al.* 1992; Reed, 1996; Lo Mónaco *et al.* 2002).

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en cinco (5) muestras recolectadas por Rey en el año 2000, representativas de toda la sección, las cuales presentan valores de (COT) entre 0,42 y 5,54% y de la relación vanadio/níquel (V/V+Ni) entre 0,43 y 0,89 indicando variaciones en la estratificación de la columna de agua y en las condiciones de las aguas de fondo (disóxicas a anóxicas) (Rey *et al.* 2004). En la [figura 2](#) se observa la ubicación de las mismas en la columna estratigráfica.

Para cada una de las muestras se prepararon tacos pulidos (4 cm²) y mediante el uso del equipo de microsonda electrónica, marca Joel, modelo JXA-8900R y a lo largo de transeptos perpendiculares a la laminación se fue obteniendo:

- a. Información cualitativa de los elementos químicos presentes utilizando el analizador dispersivo en energía EDX;
- b. Imágenes COMPO mostrando las variaciones composicionales de las muestras de acuerdo al número atómico promedio; y
- c. Mapas bidimensionales con la distribución espacial de elementos mayoritarios y traza: Si, Ca, O, C, Al, K, S, Zn, Fe y P. Los mapas elementales que reflejaron cambios cíclicos en la composición fueron los del Si y el Ca.

Con el fin de evaluar la ciclicidad sedimentaria observada a escala submilimétrica, se realizaron análisis espectrales utilizando el programa POWGRAF2 (Graphical Power Spectrum Analysis, versión 2.0; Pardo-Igúzquiza & Rodríguez-Tovar, 2004).

Para cada uno de los mapas elementales obtenidos para el Si y el Ca, se construyó una base de datos con las variaciones en la concentración a intervalos de 10 micras, a la cual se le sustrajo la media con el fin de eliminar la distorsión que se genera en la frecuencia cercana a cero. Los espectros fueron obtenidos por el método de Transformadas Rápidas de Fourier. Los periodogramas fueron suavizados aplicando una función de tipo promedio móvil, específicamente la técnica de Hanning en donde $I^*(j) = 0,25I(j-1) + 0,50I(j) + 0,25I(j+1)$, $I(j)$ representa el periodograma, $I^*(j)$ es el periodograma suavizado. A través de un proceso autoregresivo de orden 1 (AR(1)), el programa calcula el nivel de ruido rojo (no periódico), igualmente determina los diferentes intervalos de confiabilidad (90%, 95% y 99%), usando una distribución chi-cuadrado (Pardo-Igúzquiza *et al.* 1994; Pardo-Igúzquiza & Rodríguez-Tovar, 2004).

Se calculó la periodicidad de los picos que presentaron una confiabilidad igual o mayor a 99%, empleando una tasa de sedimentación de 13 mm/1000 años reportada para las formaciones La Luna y Querecual por Cotillon *et al.* (2000).

RESULTADOS

Las muestras analizadas están caracterizadas por presentar una fracción de aloquímicos compuesta principalmente por foraminíferos, adicionalmente se observaron fragmentos de peces, los mismos se encuentran embebidos en una matriz conformada mayoritariamente por carbonato (micrita) y cuarzo detrítico, en menor proporción se tiene la presencia de aluminosilicatos. Otros componentes presentes son: materia orgánica, pirita, esfalerita y fosfato. La materia orgánica se presenta en forma dispersa, rellenando cavidades de fósiles o en fracturas ([figuras 3 A, B y C](#)). El resto de los componentes se observaron dispuestos en forma diseminada, con la excepción de la escalerita, la cual puede observarse también rellenando fracturas ([figura 3 D](#)).

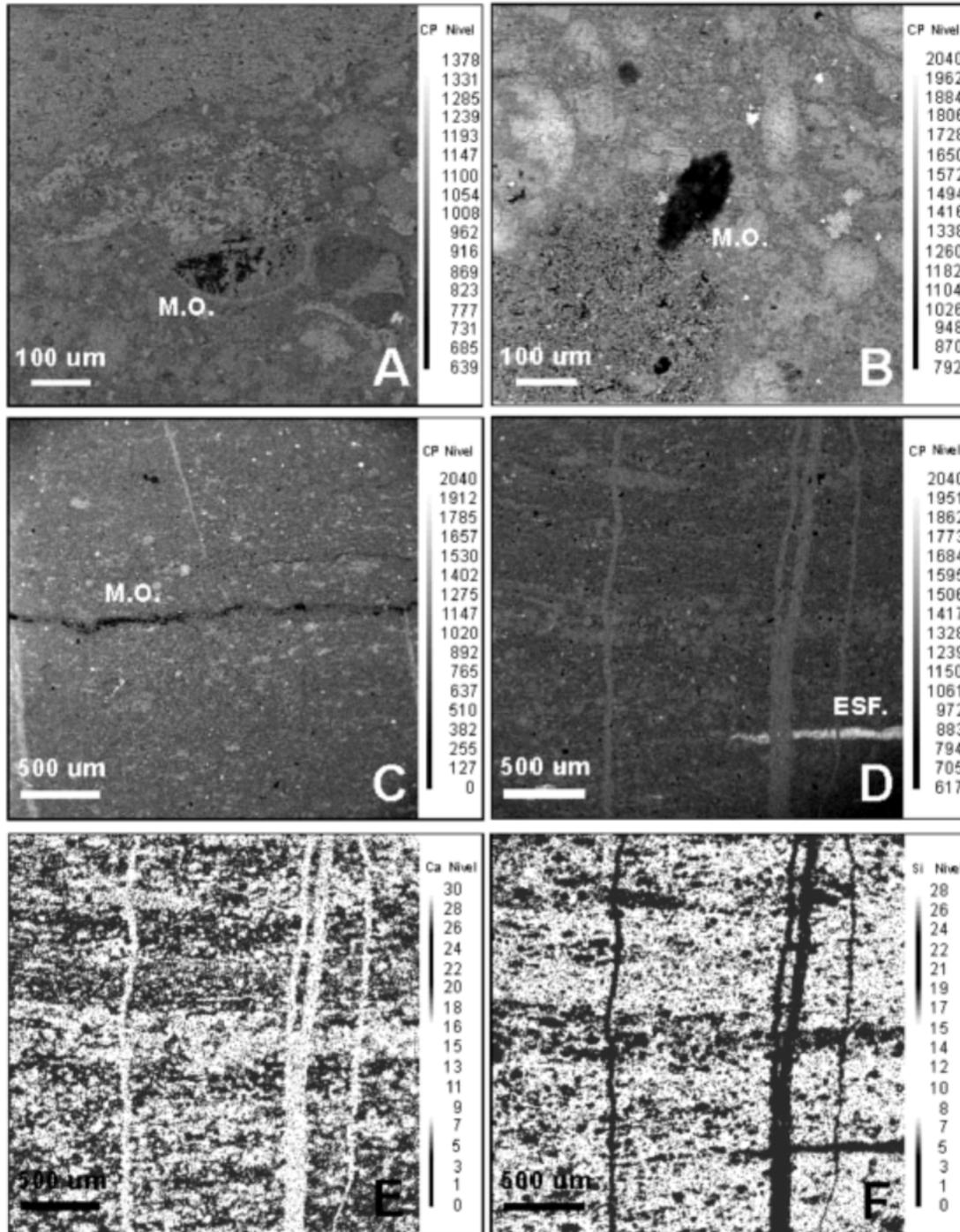


Figura 3. Imágenes COMPO que señalan las diferentes formas en que se observa la materia orgánica en las muestras analizadas: A) rellenando de las cavidades fósiles, B) diseminada y C) rellenando fracturas. D) Imagen COMPO donde se observa la esfalerita rellenando una fractura, E) Mapa elemental de Ca, las tonalidades claras indican enriquecimiento en este elemento; F) Mapa elemental de Si, las tonalidades claras indican enriquecimiento en este elemento. En los mapas E y F se observa la alternancia a escala submilimétrica de bandas ricas en componentes carbonáticos y bandas enriquecidas en componentes siliciclásticos. MO materia orgánica, ESF. Esfalerita.

Los foraminíferos se encuentran mayoritariamente rellenos de calcita, sólo en raras ocasiones se observaron rellenos de aluminosilicatos (caolinita) y materia orgánica. Hacia el tope de la formación los foraminíferos se observaron fosfatizados.

A nivel submilimétrico se observan bandas claras enriquecidas en foraminíferos y/o micrita, alternando con bandas oscuras enriquecidas en material terrígeno conformado mayoritariamente por cuarzo y en menor proporción aluminosilicatos (figuras 3 E y F). No se observa una relación entre las variaciones en el contenido de materia orgánica y la ciclicidad definida a esta escala.

Con el fin de evaluar esta ciclicidad, se construyeron peridogramas en los mapas de Si y Ca (elementos mayoritarios; figura 4). En la tabla 1 se indican los ciclos identificados que presentaron una confiabilidad igual o mayor a 99%, cuyos períodos son expresados en milímetros y en años, estos últimos se obtuvieron aplicando una tasa de sedimentación de 13 mm/1000 años reportada por Cotillon *et al.* (2000).

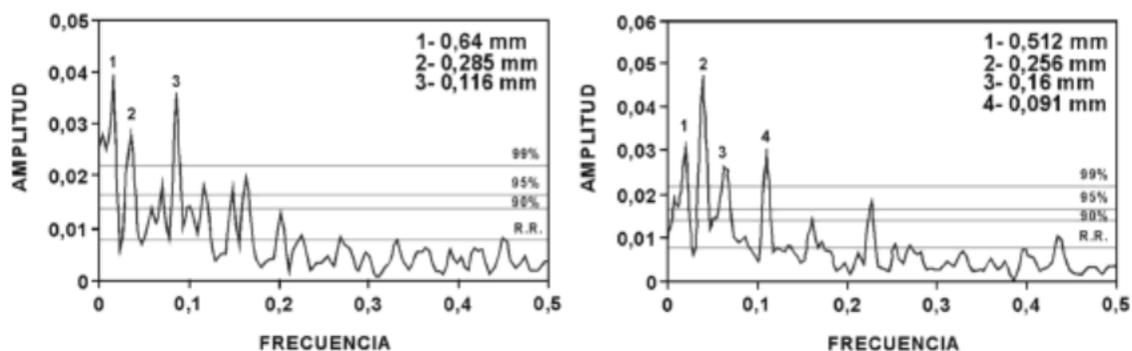


Figura 4. Ejemplos de los peridogramas generados en las muestras analizadas de la Formación La Luna, con base en las variaciones de Ca (izquierda) y de Si (derecha).

Tabla 1. Ciclos identificados en las muestras analizadas de la Formación La Luna, ordenados de mayor (1) a menor (4) frecuencia de ocurrencia.

Si		Ca	
Períodos (mm)	Períodos (años)	Períodos (mm)	Períodos (años)
1) 0,427 a 1,28	33 a 98	1) 0,427 a 1,28	33 a 98
2) 0,213 a 0,366	16 a 28	2) 0,213 a 0,366	16 a 28
3) 0,116 a 0,197	9 a 15	3) 0,102 a 0,197	8 a 15
4) 0,058 a 0,095	4 a 8	4) 0,062 a 0,098	5 a 8

Ciclos sedimentarios de alta frecuencia

La presencia de ciclos periódicos en el registro estratigráfico puede ser resultado de un número de mecanismos diferentes, tales como el efecto de variaciones en la radiación solar y de las configuraciones orbitales, o por procesos internos que relacionan las oscilaciones climáticas con el sistema océano-atmósfera de los cuales el mejor conocido es El Niño Oscilación del Sur (ENZO) (Davis, 2006).

Los ciclos solares más importantes son los de Schwabe con una periodicidad de 8 a 17 años y un período promedio de 11 años; y Hale de 22 años. El ciclo de Schwabe está caracterizado por variaciones en el número de manchas solares. Las manchas solares aparecen en parejas con campos magnéticos opuestos. De las parejas de manchas solares del hemisferio norte, la mancha que guía a su compañera en la dirección de rotación tiene un campo magnético en sentido opuesto al de la mancha solar dominante en el hemisferio sur. Cuando comienza un nuevo ciclo de 11 años, se invierte el sentido del campo magnético de las manchas solares dominantes de cada hemisferio. Así pues, el ciclo solar completo incluyendo la polaridad del campo magnético, dura unos 22 años (ciclos de Hale; Algeo & Woods, 1994). Otros ciclos solares menos documentados incluyen el ciclo de Gleissberg (~ 70 a 90 años), el cual refleja expansiones y contracciones casi periódicas del diámetro solar, y otros ciclos de 100-200 años (Algeo & Woods, 1994; Heydare *et al.* 1997). El ciclo ENZO exhibe una periodicidad de 2 a 7 años (Davis, 2006).

La duración de los ciclos determinados a nivel submilimétrico, identificados en la Formación La Luna, permite correlacionarlos con los ciclos de Gleissberg, Hale y Schwabe. Con menor frecuencia se pudo detectar el ciclo ENZO. Esta ciclicidad se interpreta como resultado del desplazamiento de la paleo-zona de convergencia intertropical, similar a lo que se observa en la actualidad en la cuenca de Cariaco (Cotillon *et al.* 2000; Elmore *et al.* 2009). Durante los períodos en que la paleo-zona de convergencia intertropical se desplazó hacia el sur, predominaron en el noroccidente de Suramérica condiciones áridas, y fuertes vientos promovieron intensa surgencia y una elevada productividad orgánica que dio como resultado la sedimentación de las bandas enriquecidas en componentes carbonáticos (foraminíferos y/o micrita). Al desplazarse la paleo-zona de convergencia intertropical hacia el norte, incrementó la pluviosidad y la descarga de detritos al océano, lo cual dio como resultado la sedimentación de las bandas enriquecidas en componentes terrígenos (mayoritariamente cuarzo y en menor proporción aluminosilicatos).

Un aspecto interesante es la abundancia de cuarzo en la fracción terrígena, de acuerdo con Kennett (1982), en depósitos marinos profundos el cuarzo aparece como uno de los componentes eólicos mayoritarios. Elmore *et al.* (2009) estudiaron los depósitos laminados de la cuenca de Cariaco, al igual que en la Formación La Luna, observan que la fracción de terrígenos está compuesta mayoritariamente por cuarzo (71%), en menor proporción reconocen caolinita (21%), ilita (4%) y clorita (3%). El contenido de terrígenos en la cuenca de Cariaco incrementa durante los períodos de elevada pluviosidad y es resultado de la descarga fluvial y del transporte eólico proveniente del desierto de Sahara. De acuerdo con Elmore *et al.* (2009), la presencia de cuarzo es resultado del transporte fluvial.

Hofmann *et al.* (2003) estudiaron los depósitos de edad Coniaciense-Santonense en la cuenca profunda de Marfil. Estos autores observaron variaciones cíclicas en el contenido del cuarzo, las cuales atribuyeron al transporte eólico proveniente desde extensas zonas áridas en la región sur de África durante períodos en que la paleo-zona de convergencia intertropical ocupaba su posición más al norte.

En el caso de las muestras analizadas de la Formación La Luna, se postula que la descarga de detritos a la cuenca estuvo acompañada de un importante aporte de sedimentos eólicos. DeConto *et al.* (1999) proponen la presencia de extensas zonas desérticas en las latitudes subtropicales de Suramérica y África (10 a 30° latitud sur) durante el Cretáceo Tardío, no se descarta transporte eólico desde estas regiones en períodos en que la paleo-zona de convergencia intertropical ocupaba su posición norte.

La ausencia de correlación entre la distribución de la materia orgánica y la laminación a nivel submilimétrico en las muestras analizadas, permite interpretar que los mecanismos responsables de la ciclicidad observada a este nivel no controlaron la acumulación de la materia orgánica.

CONCLUSIONES

Las muestras analizadas de la Formación La Luna exhiben una ciclicidad a nivel submilimétrico caracterizada por la alternancia de bandas enriquecidas en componentes carbonáticos (foraminíferos y/o micrita) y bandas enriquecidas en material terrígeno (mayoritariamente cuarzo y en menor proporción aluminosilicatos), la cual se interpreta como resultado del desplazamiento de la paleo-zona de convergencia intertropical. Los mecanismos responsables de esta ciclicidad no controlaron la acumulación de materia orgánica a esta escala.

La duración de los ciclos identificados permite correlacionarlos con los ciclos en la banda solar Gleissberg, Hale y Schwabe; con menor frecuencia se pudo detectar el ciclo ENZO.

El uso de la microsonda electrónica EPMA permitió la identificación de ciclos de menor duración a los reportados por autores previos en la Formación La Luna.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV, organismo que financió este estudio a través del Proyecto N° 08-00-6232-2006. Igualmente agradecen los comentarios de la Dra. María Antonieta Lorente Alonso y del Dr. Manuel Martínez Santana, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad del presente trabajo. Los análisis fueron realizados en el Centro de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, gracias al proyecto FONACIT LAB-2001001442.

REFERENCIAS

1. Algeo, T.J. & Woods, A.D. (1994). Microstratigraphy of the Lower Mississippian Sunbury Shale: A record of solar-modulated climatic cyclicity. *Geology*, 22; pp. 795-798. [[Links](#)]
2. Astor, Y., Muller-Karger, F., Scranton, I. (2003). Seasonal and interannual variation in the hydrography of the Cariaco Basin: implications for basin ventilation. *Continental Shelf Research*, 23; pp. 125-144. [[Links](#)]
3. Chambers, M.H., Lawrence, D.S.L., Sellwood, B.W., Parker, A. (2000). Annual layering in the Upper Jurassic Kimmeridge clay formation, UK, quantified using an ultra-high resolution SEM-EDX investigation. *Sedimentary Geology*, 137; pp. 9-23. [[Links](#)]
4. Cotillon, P., Picard, A., Tribouillard, N. (2000). Compared cyclicity and diagenesis of two anoxic deposits in the Caribbean domain: The Pleistocene-Holocene of Cariaco Basin (Site 1002) and the Upper Cretaceous La Luna-Querecual Formation (North Venezuela). In Buffler, R.T. et al (Editors) *Init. Repts., DSDP, 77: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*, pp. 339-376. [[Links](#)]

5. Davis, A. (2006). High resolution palaeoceanography and palaeoclimatology from mid and high latitude Late Cretaceous laminated sediments. University of Southampton. School of Ocean & Earth Science. PhD Thesis, p. 274. [[Links](#)]
6. Deconto, R.M., Hay, W., Thompson, S.L., Bergengren, J. (1999). Late Cretaceous climate and vegetation interaction: cold continental interior paradox. In Barrera, E. and Johnson, C (Editors) Evolution of the Cretaceous ocean-climate system. Geological Society of America, Special Paper 332; pp. 391-406. [[Links](#)]
7. Elmore, C., Thunell, R.C., Styles, R., Black, D., Murray, R.W., Martínez, N., Astor, Y. (2009). Quantifying the seasonal variations in fluvial and eolian sources of terrigenous material to Cariaco Basin, Venezuela. Journal of South American Earth Sciences. 27: 197-210. [[Links](#)]
8. Goldstein, I. J., Newbury, E. D., Chelín, P., Joy, C. D, Friori, C., Lifshin, E., Roming, D. A., Lyman, E.C. (1992). Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Plenum Press, New York, London, 2nd Edition, 3-67. [[Links](#)]
9. Heydare, E., Wade, W.F., Anderson, L.C. (1997). Depositional environments, organic carbon accumulation, and solar-forcing cyclicity in Smackover Formation lime mudstones, Northern Gulf Coast. AAPG Bulletin, 81(5): 744-760. [[Links](#)]
10. Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., Guildersen, T. (2001). Solar forcing of draught frequency in the Maya Lowlands. Science, 292: 1367-1370. [[Links](#)]
11. Hofmann, P., Wagner, T., Beckmann, B. (2003). A millennial- to centennial- scale record of African climate variability and organic carbon accumulation in the Coniacian-Santonian eastern tropical Atlantic (Ocean Drilling Program Site 959, off Ivory Coast and Ghana). Geology, 31: 135-138. [[Links](#)]
12. Kennett, J. (1982). Marine Geology. Prentice-Hall, Inc, p. 813. [[Links](#)]
13. LoMónaco, S., López, L., Rojas, H., García, D., Premovic, P., Briceño, H. (2002). Distribution of major and trace elements in La Luna Formation, southwestern Venezuela Basin. Organic Geochemistry, 33: 1593-1608. [[Links](#)]
14. Pardo-Igúzquiza, E., Chica-Olmo, M., Rodríguez-Tovar, F.J. (1994). CISTRATI: A computer program for spectral analysis of stratigraphic successions. Computer & Geosciences 20(4): 511-584. [[Links](#)]
15. Pardo-Igúzquiza, E. & Rodríguez-Tovar, F.J. (2004). POWGRAF2: a program for graphical spectral analysis in cyclostratigraphy. Computer & Geosciences, 30: 533-542. [[Links](#)]
16. Reed, S. J. B. (1996). Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology. Cambridge University Press, p. 201. [[Links](#)]
17. Rey, O., Simo, J.A., Lorente, M.A. (2003). Microfacies laminadas en la Formación La Luna, sección del río San Miguel, estado Mérida, Venezuela: descripción y significado. Revista de la Facultad de Ingeniería (UCV, Caracas). 18(3): 137-153. [[Links](#)]

18. Rey, O., Simo, J.A., Lorente, M.A. (2004). A record of long- and short term environmental and climatic change during OAE3: La Luna Formation, Late Cretaceous (Santonian - early Campanian), Venezuela. *Sedimentary Geology*, 170: 85-105. [[Links](#)]
19. Yu, Z. & Ito, E. (1999). Possible solar forcing of century-scale drought frequency in the northern Great Plains. *Geology*, 27(3): 263-266. [[Links](#)]