

APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CICLICIDAD EN EL LÍMITE CRETACICO-TERCIARIO (OESTE DE VENEZUELA).

González, E*, M.A. Lorente**, J. Acosta** y V. Rull**

* Universidad Central de Venezuela, **PDVSA, C.A..

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este trabajo consiste en reconocer señales cíclicas y su periodicidad dentro de las formaciones Colón y Mito Juan del Cretácico Tardío-Paleoceno Temprano (occidente de Venezuela). La secuencia estudiada en superficie se caracteriza por una alternancia rítmica de lutitas, limolitas y areniscas que sugiere la influencia de patrones orbitales en su depositación, principalmente asociados a la banda de frecuencia de los ciclos de Milankovitch, con periodicidades entre 19 y 400 ka.

El aporte fundamental de esta investigación radica en la aplicación de métodos estadísticos para integrar el análisis matemático y estratigráfico en la interpretación de los procesos cíclicos en el registro sedimentario. La obtención de diagramas de ondas (periodogramas) permitirá identificar si la ciclicidad observada tiene relación con cambios climáticos y predecir si las fuerzas orbitales influyeron durante la depositación de la secuencia. El tratamiento de los sedimentos bajo estos parámetros proporciona una herramienta geocronológica de alta resolución (a nivel de cientos a miles años). Asimismo el trabajo se considera un aporte en el estudio del límite K/T en secciones del norte de Suramerica. Algunos autores han sugerido el uso de estos métodos para refinar la cronología del Cretácico y Paleoceno (Ten Kate *et al.*, 1989, Herbert *et al.*, 1995, Schwarzacher, 2000, etc.) y señalan la utilidad de la *cicloestratigrafía* para datar la posición del nivel de extinción de especies, para la evaluación de la tasa de sedimentación a través de los ambientes y para el establecimiento de correlaciones dentro de una cuenca.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la vertiente norte de la cordillera andina venezolana hacia el piedemonte occidental. La sección se localiza en la Quebrada San Isidro, ubicada al noroeste de la población Mesa Bolívar, Municipio Tovar del estado Mérida (Figura 1). En el área afloran las unidades Cretácico-Terciario correspondientes a las formaciones La Luna, Colón, Mito Juan y el Grupo Orocué.

Estructuralmente el área se encuentra limitada por pliegues y fallas transversales y longitudinales, producto de esfuerzos compresivos en dirección aproximada NO-SE, ocurridos probablemente en el Terciario Superior, como consecuencia de la orogénesis andina (Becerra *et al.*, 1997).

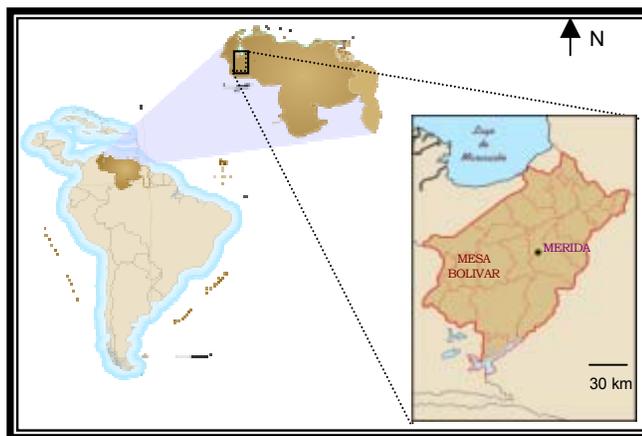
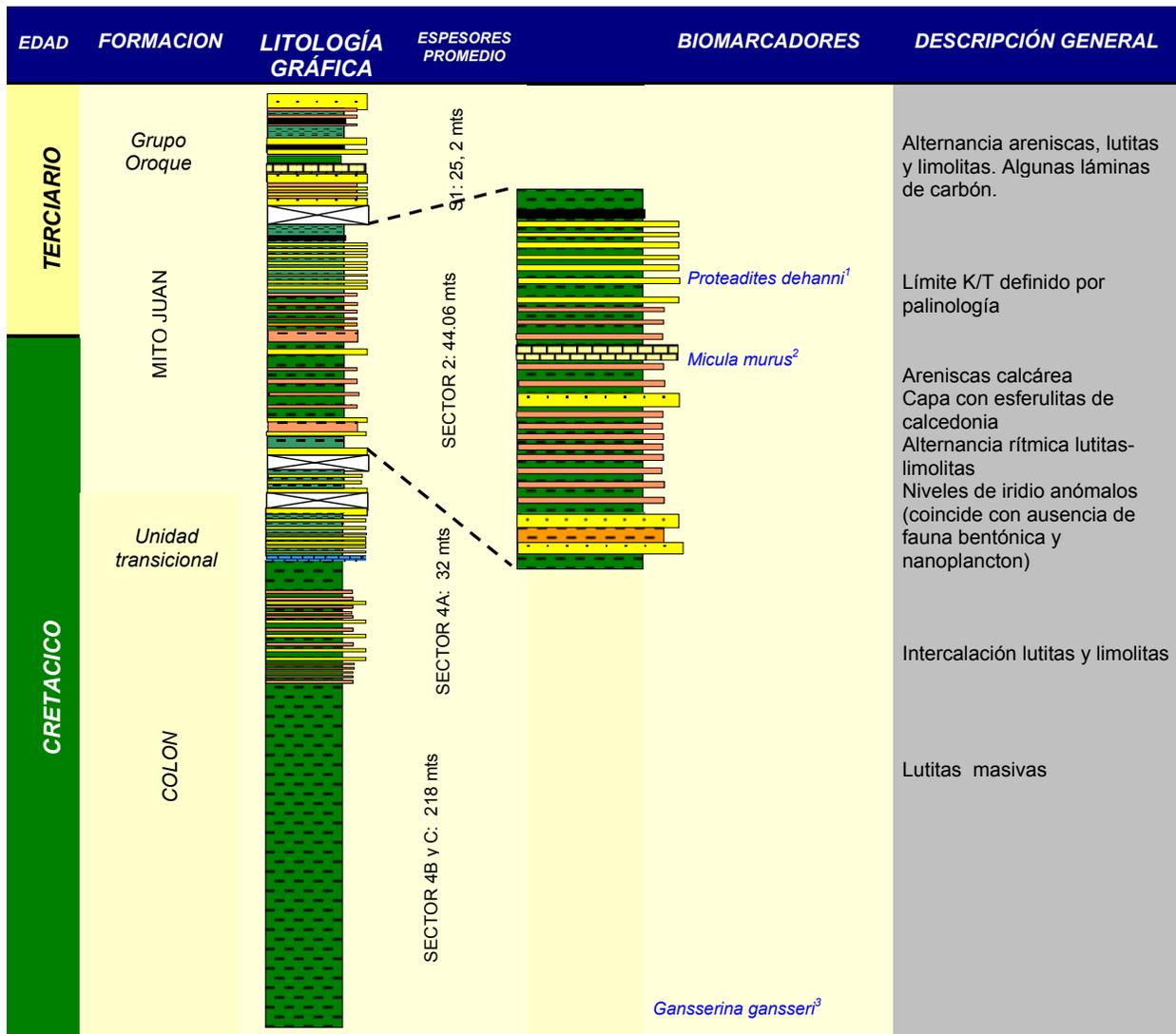


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Esta secuencia representativa del límite K/T muestra una impresión muy particular de los eventos que se infiere sucedieron a finales del Cretácico y comienzos del Terciario a nivel mundial y que se atribuyen al impacto de un cuerpo extraterrestre.

La edad de la sección se definió en base a las zonaciones de nanoplancton calcáreo (Bolli *et al.*, 1989), foraminíferos (Sliter, 1989) y palinología (Muller *et al.* 1987). De acuerdo a estas zonaciones la depositación de la sección estuvo comprendida entre el Maastrichtense Tardío-Paleoceno Temprano. Las evidencias micropaleontológicas y litofacies sugieren una progradación ambiental desde un ambiente marino somero hasta continental tal como lo señala Duran (1999) (Figura 2).



Especies fósiles: 1. Palinomorfo indica tope del Maastrichtense. 2. Microfósil correspondiente a la última zonación del Cretácico para nanoplancton calcáreo. 3. Zonación por micropaleontología (foraminífero bentónico)

Figura 2. Columna litoestratigráfica generalizada para el intervalo Cretácico-Terciario en el área de Mesa Bolívar, Estado Mérida, Venezuela (escala proporcional).

METODOLOGIA

Para la determinación de la ciclicidad se aplicaron métodos estadísticos basados en la construcción e interpretación de series de tiempo a partir de datos cualitativos (granulometría) y datos cuantitativos (espesor de las capas y datos granulométricos de materia orgánica). En este resumen solo se presenta el análisis de los datos de espesor de las capas. Los métodos empleados corresponden básicamente al análisis de la *Transformada de Fourier*, el cual a través del espectro generado, permite identificar el patrón periódico dentro una serie (Chailfield, 1989). El análisis espectral es una herramienta eficaz para la verificación de los patrones cíclicos en la sedimentación, pese a que algunas distorsiones en los armónicos son inevitablemente introducidas por la interacción entre las fuerzas orbitales y los patrones sedimentarios generando cambios en la tasa de sedimentación (Herbert, *et al*, 1995)

La sección analizada de aproximadamente 350 metros, se dividió en cuatro segmentos por encontrarse sectores no expuestos de la unidad sedimentaria (cubiertos por vegetación, desprendimientos de roca, etc.). De estos segmentos se seleccionaron los sectores 1, 2 y 4A para la realización de los diferentes análisis estadísticos: a) *SECTOR 1*: 70 capas medidas, 18.18 mts. de longitud, b) *SECTOR 2*: 214 capas, 44.06 mts. de longitud y c) *SECTOR 4.A*: 85 capas medidas en 35.52 mts. Los análisis preliminares se concentraron a su vez en el *Sector 2* (Figura 3) donde previamente fue definido el límite Cretácico-Teriaro a partir de la zonación palinológica realizada por Caroprese (2000).

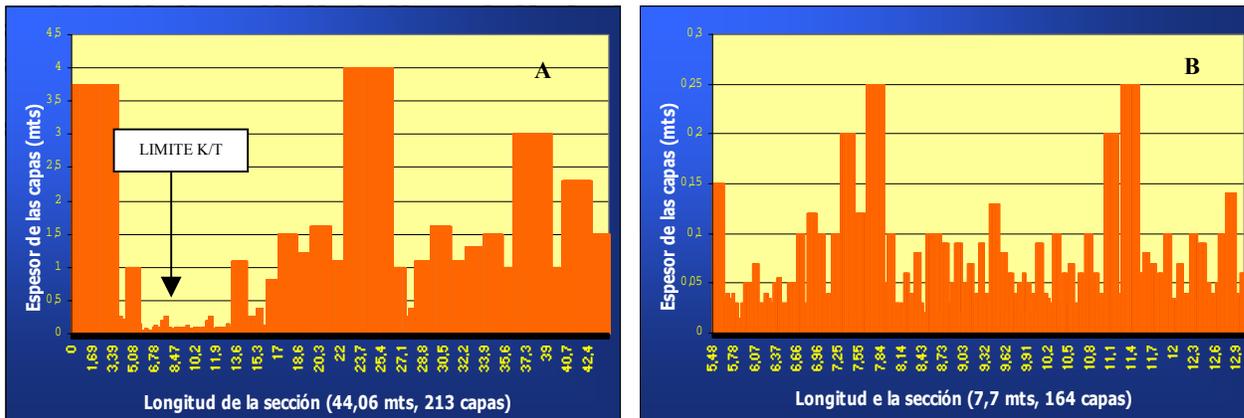


Figura 3. Espesor de las capas en el sector 2. A. Longitud total de la sección. B. Detalle de las capas más finas del sector correspondientes a las capas de granulometría más gruesa (areniscas y limolitas).

Se aplicó el modelo de análisis de armónicas donde el espectro generado a partir de la aplicación de la transformada de Fourier (FFT: *Fast Fourier Transform*) es directamente evaluado. En el periodograma resultante se plotea el valor de cada armónica versus su frecuencia siendo análogo con el método de Blackman-Tukey para la predicción de periodicidad en series de tiempo (Reijmer *et al*, 1994).

La secuencia de valores de espesor correspondieron a un máximo de 128 datos respondiendo a las especificaciones señaladas para la transformada de Fourier donde el número de valores de entrada debe ser una potencia de dos (Chailfield, 1989). Este valor se trasladó hasta completar el número total de capas dentro de la sección, obteniendo un barrido de toda la sección, lo cual permitió a su vez evaluar las frecuencias más representativas así como la determinación de los cambios en la longitud de los ciclos a lo largo de la sección estratigráfica.

Cabe destacar que esta respuesta cíclica corresponde a rasgos básicos de la señal y que posteriormente se aplicarán métodos de suavizado de curvas (media móvil) para la selección de picos significativos en el espectro. La aplicación del filtro a los espectros generados permite que la amplitud en la base de las frecuencias predominantes sea reducida, generando un pico ideal para la interpretación de la periodicidad.

RESULTADOS PRELIMINARES

Se generaron 87 espectros de frecuencia presentándose en la *Figura 4* los que mostraron las variaciones más importantes. En los gráficos se observa un componente cíclico de diferentes frecuencias para el sector 2, sin embargo la persistencia de la frecuencia más alta ($f=28$, $f=38$) es evidente a lo largo de toda la sección, indicando una oscilación periódica mayor implícita en todos los gráficos. Esta señal es menos perceptible hacia la base y parte central de la sección, siendo subordinada por frecuencias más bajas. Asimismo las frecuencias $f=3$ y $f=8$ (armónica fundamental), indican longitudes de onda más amplias y sugieren una regularidad en la ciclicidad a lo largo de toda la secuencia.

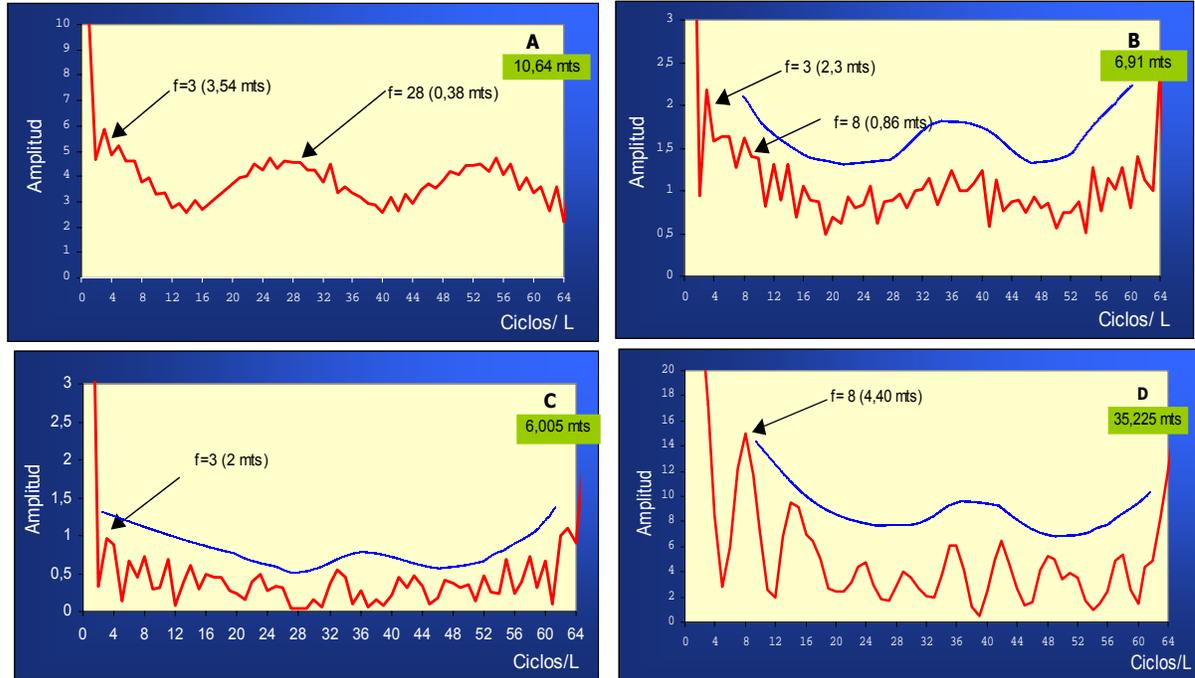


Figura 4. Periodogramas construidos para el sector 2 basados en el espesor de las capas. A. Corresponde al tope de la sección. B y C. Corresponden a las capas centrales, intervalos de menor longitud. D. Base de la sección.

DISCUSIÓN

Resultados preliminares basados en el espesor sugieren la presencia de ciclos regulares en la distribución de las capas reflejando condiciones repetidas de sedimentación y un patrón de empaquetamiento muy característico de secuencias, que a escala mundial, han sido interpretadas como producto de la influencia de los ciclos de Milankovitch (ej. Bridge Creek Limestone Member en Colorado, USA, en Meyers *et al*, 2000)

La aplicación de la transformada de Fourier refleja una irregularidad con respecto a la dimensión de los ciclos a medida que las capas varían su espesor, esto es interpretado a partir de los cambios de frecuencia a lo largo de la sección. Los ciclos más cortos corresponden a los sectores cuyas capas son más delgadas ($F8=0.86$ mts, $F3=2.3$ y 2 mts - *Figura 4*, diagramas B y C) y los ciclos más largos a sectores de mayor longitud para las mismas frecuencias ($F3=3.54$ mts y $F8=4.4$ mts - *Figura 4*, diagramas A y D). Esta situación probablemente coincide con variaciones en el intervalo de tiempo representado por

los ciclos así como una diferente distribución de la energía en los ambientes depositacionales (variaciones en la tasa de sedimentación).

Basándose en la comparación del empaquetamiento de las capas observado en campo y la ciclicidad interpretada a partir de la aplicación de los métodos seleccionados, los ciclos obtenidos reflejan casi la misma magnitud con respecto a las frecuencias más altas inferidas a partir de los espectros (ciclos de 2 a 4 metros).

Al observarse un comportamiento repetitivo en cuanto al espesor y tipo de litología dentro de la columna estratigráficas y cuya duración de ciclos de acuerdo a los valores máximos probables de tasa de sedimentación (calculados para la sección en 11.13 mts/0.6 m.a.) se asemejan a la periodicidad estimada para los ciclos de Milankovitch (Schwarzacher, 2000), entonces se asume que la depositación de la secuencia estuvo controlada por fuerzas orbitales.

Los ciclos más amplios con espesores estimados entre 2 y 4 metros indican valores entre 107 y 215 ka. Ciclos más cortos inferidos a partir de las frecuencias más altas ($f=28$, 0.38 mts y $f=40$, 0.15 mts y 0.44) corresponden a 20, 8 y 23 ka, respectivamente. Estos valores obviamente son afectados por las variaciones en la tasa de sedimentación y por otros factores como bioturbación, diagénesis, compactación de las capas, etc., por lo cual los períodos obtenidos reflejan cierto rango de error.

No obstante en el gráfico de espesores acumulados de las capas para el sector 2 (Figura 5) no se observan cambios abruptos hacia el tope de la sección lo cual indica que el patrón de acumulación es casi constante; por lo tanto si se asume que cada capa representa una unidad de tiempo constante (Ten Kate *et al*, 1989) entonces la tasa de depositación no varió en grandes proporciones para este sector. Pocknall, 1997 señala que si se asume una continua depositación y preservación de sedimentos es posible tener una sección casi completa del límite K/T.



Figura 5. Curva acumulada del espesor estratigráfico para el sector 2.

CONCLUSIONES

- El análisis de los espectros indica que la longitud de los ciclos varía a lo largo de la sección.
- Los valores expresados en tiempo 107 ka, 20 ka y 23 ka se asemejan a los ciclos sugeridos por Schwarzacher (2000) para excentricidad (128 ka) y precesión (23 ka). Esto indicaría que la depositación de la sección estuvo controlada por fuerzas orbitales.
- Al no observarse interrupciones estratigráficas importantes dentro de la secuencia sedimentaria podría considerarse una tasa de sedimentación constante en el intervalo estudiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Becerra, M.I. y Gomez, M.T: 1987. Geología sedimentaria de una zona ubicada al norte de la población de Jají, Estado Mérida (Estudio de rocas fosfáticas). Trabajo Especial de Grado. Caracas. U.C.V.

2. Bolli, H. M. J. B. Saunders and K. Perch-Nielsen. 1985. Plankton Stratigraphy. Cambridge University, Cambridge, 328 p.
3. Caroprese, C. 2000. Estudio estratigráfico comparativo del límite Cretáceo-Terciario. Trabajo Especial de Grado. Caracas. U.C.V. 129 p.
4. Chaifield, C. 1989. The Analysis of Time Series. 4th ed. Chapman & Hall, New York. 241 p.
5. Duran, I. 1999. Estudio de Nanoplancton Calcáreo Quebrada San Miguel, Estado Mérida. Proyecto Límite K/T. PDVSA. Informe Interno, 22 p.
6. Herberg, T.D., I. Premoli Silva, E. Erba and A. Fischer. 1995. Orbital chronology of Cretaceous-Paleocene marine sediments. In Bergrenn, W.A., A.D. Kent, M.-P. Aubrey and J. Hardenbol (eds.). Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Spec. Pub., no. 54, p. 81-93.
7. Meyers, S. R., Sageman, B.B., and L.M. Hinnov, 2001. Integrated Quantitative Stratigraphy of Cenomanian-Turonian Bridge Creek Limestone Member using Evolutive Harmonic Analysis and Stratigraphic Modeling. (<http://www.earth.northwestern.edu/people/meyers/paleoclimate.html>), (03/2001).
8. Muller, J., E. Di Giacomo and A. W. van Erve. 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of North South America. AASP, no. 19, 60 p.
9. Pocknall, D.T, R.N. Erlich, J.A. Stein, J.A. Bergen and M.A. Lorente. 1997. A Cretaceous-Tertiary boundary section at Río Lora, Mérida Andes, Western Venezuela. *VI Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*. Cartagena de Indias, Tomo I, p. 552-564.
10. Schwarzacher, W. 2000. Repetitions and cycles in stratigraphy. *Earth-Science Reviews* no. 50, p. 51-75.
11. Sliter, W.V. 1989. Biostratigraphic Zonation for Cretaceous Planktonic Foraminifers Examined in Thin Section. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 19, no. 1, p. 1-19.
12. Ten Kate, W.G.H.Z. and A. Sprenger. 1989. On the periodicity in a calcilutite-marl succession (SE Spain). *Cretaceous Research*, v. 10, p. 1-31.

