

# NANOFÓSILES CALCÁREOS DE LA SECCIÓN ARROYO ALFÉREZ (CARMEN DE BOLÍVAR): UNA BIOZONIFICACIÓN PRELIMINAR PARA EL OLIGOCENO – MIOCENO MEDIO DEL NORTE DE COLOMBIA

Mejía, A. E.<sup>1</sup>; Flores, J. A.<sup>1</sup>; Torres, V.<sup>2</sup>.

## RESUMEN

Un primer esquema biocronológico basado en nanofósiles calcáreos del norte de Colombia, se presenta como resultado del análisis de 40 muestras de superficie de la sección Arroyo Alférez (Bolívar, Colombia). La nanoflora está representada por *Cyclicargolithus floridanus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra minutula*, *Reticulofenestra media* y *Reticulofenestra pseudoumbilicus*, con algunos niveles de *Helicosphaera*. Discoasteridos son importantes hacia el final de la secuencia. Se reconocen las biozonas NP23 a NN5, según el esquema de Martini (1971) y CP18 a CN4 según el esquema de Bukry (1973, 1975). Esto indica que el intervalo analizado va desde el Oligoceno Temprano (Rupeliense) hasta el Mioceno Medio (Langhiense-Serravalliense).

La biozonificación de la sección del Arroyo Alférez, constituye el punto de partida para obtener un marco biocronológico del Cenozoico con base en nanofósiles para el norte de Colombia, con aplicación directa en la exploración de hidrocarburos, especialmente en áreas costa afuera.

**Palabras clave:** Nanofósiles, bioestratigrafía, Carmen de Bolívar, Oligoceno, Mioceno

## CALCAREOUS NANOFOSSELS FROM THE ARROYO ALFÉREZ SECTION (CARMEN DE BOLÍVAR): A PRELIMINARY BIOZONATION FOR THE OLIGOCENE-MIDDLE MIOCENE OF NORTHERN COLOMBIA

### ABSTRACT

A nanofossils-based biostratigraphic scheme is presented for the northern Colombia. Forty (40) outcrop samples from the Arroyo Alférez section were analysed for nanofossils content. Taxa presented along the section are *Cyclicargolithus floridanus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra minutula*, *Reticulofenestra media* and *Reticulofenestra pseudoumbilicus*. *Helicosphaera* sp. was abundant in some intervals, while Discoasterids increase to the top of the section. Biozones NP23 to NN5 (Martini, 1971) and CP18 to CN4 (Bukry, 1973; 1975) have been identified, indicating Early Oligocene (Rupelian) to Middle Miocene (Langhian-Serravallian) age for the section.

The biozonation of the Arroyo Alférez constitutes the first nanoplankton-based approach to construct a biochronologic scheme for the Cenozoic of northern Colombia with application on oil exploration of the offshore areas of the Colombian Caribbean basin.

**Key words:** Nanofossils, biostratigraphy, Carmen de Bolívar, Oligocene, Miocene.

---

1. Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias, Departamento de Geología, 37008, Salamanca, España, alejandra@usal.es.  
2. Instituto Colombiano del Petróleo, ECOPEPETROL S.A.-ICP, Km 7 vía Piedecosta, Santander, Colombia, vladimir.torres@ecopetrol.com.co

## INTRODUCCIÓN

Los nanofósiles calcáreos son uno de los principales grupos fósiles usados en la industria del petróleo para determinar la edad relativa y la correlación de litofacies identificadas en pozos de gas y aceite. Fueron inicialmente utilizados en la industria de hidrocarburos en los años sesenta y durante los ochentas, rápidamente ganaron reconocimiento. (Crux & Van Heck, 1989). En Colombia, los esquemas biocronológicos para las secuencias sedimentarias Cenozoicas de origen marino

están basadas en foraminíferos (Petters & Sarmiento, 1956; Stone, 1968; Duque-Caro, 1968, 1972a, 1975); sin embargo, estos esquemas no están correlacionados con una secuencia continua, han sido obtenidos a partir de un registro fragmentado, con lo cual el valor cronoestratigráfico no es relevante.

A pesar de su alto valor biocronológico, los nanofósiles calcáreos aun no han sido utilizados en Colombia para generar una bioestratigrafía de alta resolución, aplicable a la correlación del registro geológico en las cuencas

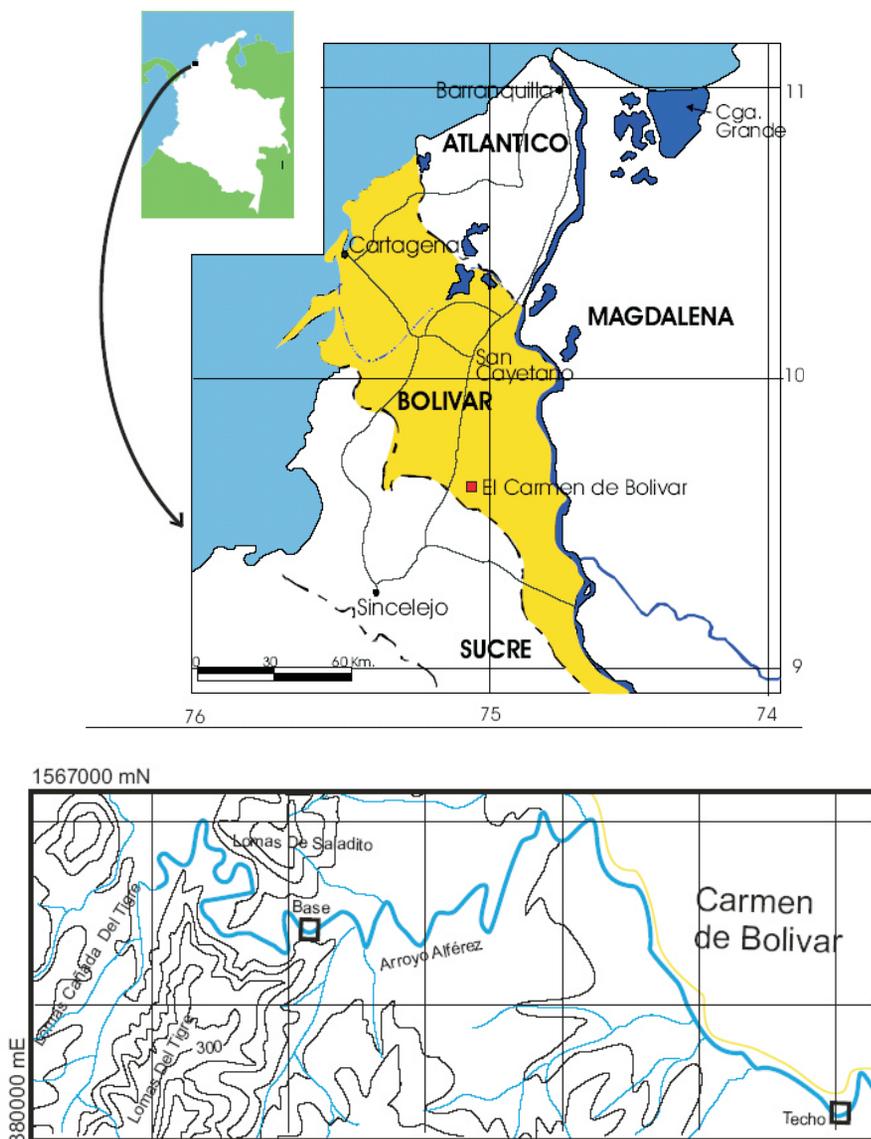


FIGURA 1. Localización de la sección de superficie Arroyo Alférez

del Valle Inferior del Magdalena (VIM), Guajira y áreas costa afuera, entre otras.

El objetivo de este trabajo es mostrar la distribución de eventos bioestratigráficos de nanofósiles calcáreos para el intervalo Oligoceno-Mioceno Inferior de la Formación El Carmen en la sección de superficie Carmen – Zambrano. Esta sección ha sido utilizada como referencia para el norte de Colombia desde Petters & Sarmiento (1956).

Se analizaron muestras provenientes del registro sedimentario de la Formación El Carmen cuya sección de superficie analizada se encuentra ubicada en cercanías a los municipios de Carmen de Bolívar, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, departamento de Bolívar (FIGURA 1). De la sección levantada en el Arroyo Alférez (punto inicial N: 9° 43' 10,77", E: 75° 9' 9,50"; punto final N: 9° 42' 41,31", E: 75° 7' 3,67"), se tomaron 40 muestras de roca fresca, para su posterior análisis microscópico.

Las técnicas de preparación de las muestras fueron realizadas en la Universidad de Salamanca (España), siguiendo el método de Flores & Sierro (1997). El análisis microscópico para el reconocimiento e identificación taxonómica de cocolitos se hizo utilizando un microscopio petrográfico Leica DMRP de 1000, 1250 y 1600 aumentos. La taxonomía propuesta en este estudio es de acuerdo a (Bolli *et al*, 1985 & Bown, 1998). Además de la planteada por otros autores en diversos artículos científicos y de la del software *Electronic Calcareous Nannofossils*, 2002 de la INA (*The International Nanoplankton Association*).

## BIOESTRATIGRAFÍA DE NANOFÓSILES SECCIÓN CARMEN – ZAMBRANO

Diversos esquemas de biozonaciones con nanofósiles calcáreos han sido propuestos para el Cenozoico (Martini, 1971; Okada & Bukry, 1980). Para la biozonación clásica propuesta en este estudio, se han escogido los esquemas de Martini (1971) & Bukry (1973, 1975) para subdividir el Oligoceno y Mioceno porque estas zonaciones se establecieron con base en secuencias muy detalladas del Caribe. Adicionalmente, se tienen en cuenta eventos adicionales propuestos por Gartner (1982), Okada & Bukry (1980), Raffi & Flores (1995), Theodoridis (1984), Varol (1989) y los registrados por Bown (1998) pertenecientes a varios autores.

La edad de la mayoría de los datos de nanofósiles y de los bioeventos fueron tomados de Berggren *et al* (1995) & Raffi & Flores (1995). Así mismo, los eventos propuestos en esta investigación se calibraron con las edades sugeridas por Berggren *et al* (1995).

En general, la nanoflora es abundante y bien preservada, donde incluso en algunos niveles, se pueden observar estructuras muy delicadas de los escudos de algunos taxones, las cuales difícilmente se encuentran preservadas en secuencias tan antiguas.

## BIOZONIFICACIÓN Y CRONOLOGÍA

Las muestras de sedimento del intervalo estudiado de Carmen-Zambrano contiene en líneas generales, de abundante a común, especímenes de *Cyclicargolithus floridanus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra minutula*, *Reticulofenestra media*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*. Común aparecen taxones (taxa?) del género *Sphenolithus* y en algunos niveles de *Helicosphaera*. En tanto que los *Discoasteroides* aparecen en poca abundancia, registrándose un considerable incremento hacia el final de la secuencia, lo que estaría en concordancia con la idea de que prefieren aguas más cálidas, condiciones que habrían prevalecido después del óptimo climático del Mioceno que finalizaría hacia ~15 Ma (Zachos *et al.*, 2001).

### NP23 *Sphenolithus predistentus* Zone

(CP17) *Sphenolithus predistentus* Zone y (CP18) *Sphenolithus distentus* Zone

**Intervalo:** De G05-CB-262 hasta G05-CB-394.

**Definición:** LO<sup>1</sup> de *Reticulofenestra umbilicus* hasta FO<sup>2</sup> de *Sphenolithus ciperoensis*

Investigaciones en secciones del Oligoceno del Norte de Europa (Müller, 1970; Benedek & Müller, 1974) han mostrado que *Cyclicargolithus abisectus* y *Helicosphaera recta* tienen sus primeras apariciones aproximadamente hacia el límite de las zonas de *Sphenolithus predistentus* y *Sphenolithus distentus* (NP23/24) de la zonación estándar (Martini, 1971; Martini & Müller, 1986; En: Garecka, 2005)

<sup>1</sup> LO: Última Ocurrencia (Last Occurrence)

<sup>2</sup> FO: Primera Ocurrencia (First Occurrence)

**Nanofósiles calcáreos de la sección Arroyo Alférez (Carmen de Bolívar):  
Una Biozonificación preliminar para el Oligoceno – Mioceno Medio del Norte de Colombia**

Edad (Ma)	Cron	Polaridad	Epoca	Edad	Nanozonas		Muestra						
					Martini (1971)	Bukry (1973, 1975)							
12	C5r <sup>2</sup> <sub>3r</sub>		Mioceno	medio	Serravallense	NN7	CN5	b					
	C5An <sup>1</sup> <sub>2n</sub>	a											
13	C5Ar <sup>1</sup> <sub>2</sub> <sup>2</sup> <sub>3r</sub>					NN6	CN4	NN5	CN4	G05-CB-711			
	C5AAr <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
	C5ABn <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
14	C5ACn <sup>1</sup> <sub>2</sub>			Langhiense	NN4	CN3	NN3	CN2	G05-CB-708				
	C5ADn <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
15	C5ADr <sup>1</sup> <sub>2</sub>			Inferior	Burdigaliense	NN2	CN1	c	G05-CB-700				
16	C5Br <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
17	C5Cn <sup>1</sup> <sub>2</sub> <sup>2</sup> <sub>3r</sub>									NN4	CN3	NN3	CN2
	C5Cr <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
18	C5Dn <sup>1</sup> <sub>2</sub>		NN2							CN1	NN2	CN1	G05-CB-664 G05-CB-655
19	C5Dr <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
20	C5En <sup>1</sup> <sub>2</sub>		NN1		CN1	NN1	CN1	G05-CB-644					
	C5Er <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
21	C6n <sup>1</sup> <sub>2</sub>		Oligoceno		Superior	Chattense	NP25	CP19	G05-CB-631 G05-CB-619 G05-CB-610				
	C6r <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
22	C6An <sup>1</sup> <sub>2n</sub>			NP24						Chattense	NP24	CP19	G05-CB-600
	C6Ar <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
23	C6AAr <sup>1</sup> <sub>2</sub> <sup>2</sup> <sub>3r</sub>			NP23						Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-586
	C6Bn <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
24	C6Br <sup>1</sup> <sub>2</sub>			NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-571					
25	C6Cn <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
26	C6Cr <sup>1</sup> <sub>2</sub>			NP25	Chattense	NP25	CP19	G05-CB-557 G05-CB-522 G05-CB-539 G05-CB-522 G05-CB-503 G05-CB-490 G05-CB-478 G05-CB-471 G05-CB-455					
	C7n <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
27	C7r <sup>1</sup> <sub>2</sub>		NP24	Chattense	NP24	CP19	G05-CB-443 G05-CB-422 G05-CB-406 G05-CB-394						
	C8n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
28	C8r <sup>1</sup> <sub>2</sub>		NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-387 G05-CB-381 G05-CB-373 G05-CB-371 G05-CB-362						
	C9n <sup>1</sup> <sub>2</sub>												
29	C9r <sup>1</sup> <sub>2</sub>		NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-350 G05-CB-334 G05-CB-320						
	C10n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
30	C10r <sup>1</sup> <sub>2n</sub>		NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-313 G05-CB-306 G05-CB-291						
	C11n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
31	C11r <sup>1</sup> <sub>2n</sub>		NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-262						
	C12n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
32	C12r <sup>1</sup> <sub>2n</sub>		NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-262						
	C13n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												
33	C13n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>		NP23	Rupeliense	NP23	CP18	G05-CB-262						
	C13n <sup>1</sup> <sub>2n</sub>												

**FIGURA 2.** Sección de superficie Arroyo Alférez. Eventos bioestratigráficos. Intervalo muestreado: 187-590 m.

Lo anterior, sumado al resto de la asociación de nanoplacton identificada, permite situar la base de la secuencia en el tope de NP23 (CP18), después del primer registro de *Cyclicargolithus abisectus*, *Helicosphaera recta* y *Discoaster adamanteus*. *Sphenolithus predistentus* está presente pero es escaso. *Helicosphaera compacta* es frecuente.

El límite entre NP23/NP24 (CP18/CP19a) estaría marcado por la LO de *Helicosphaera compacta* y FO de *Sphenolithus ciperoensis*, lo que estaría en concordancia por lo sugerido por Bolli et al. (1985).

#### **NP24 *Sphenolithus distentus* Zone**

(CP19) *Sphenolithus ciperoensis* (CP19a) *Cyclicargolithus floridanus* Zone

**Intervalo:** De G05-CB-406 hasta G05-CB-490.

**Definición:** FO de *Sphenolithus ciperoensis* hasta LO de *Sphenolithus distentus*

La asociación presenta un importante aumento de *Helicosphaera euphratis* y *Cyclicargolithus abisectus*. *Sphenolithus predistentus* es frecuente y desaparece antes de *Sphenolithus distentus*, aunque la presencia de este último es escasa en todos los niveles. Se destaca la abundancia de *Reticulofenestra bisecta*. Escasos individuos de *Triquetrorhabdulus carinatus*, levemente disueltos, se registran en esta zona. Estas características estarían de acuerdo a lo descrito por Bolli et al. (1985) para NP24.

El tope de esta zona está caracterizado por la última ocurrencia de *Pontosphaera (Discolithina) enormis* (Müller, 1976; Benedek & Müller, 1974; en: Garecka, 2005 y Martini, 1981; Martini & Müller, 1986). Pero, aunque *Pontosphaera multipora* aparece en algunos niveles como frecuente, la presencia de *Pontosphaera enormis* no se ha registrado en la sección o su identificación no ha sido posible dada las características de preservación de los especímenes.

#### **NP25 *Sphenolithus ciperoensis* Zone**

(CP19) *Sphenolithus ciperoensis* Zone (CP19b) *Dictyococcites bisectus* Subzone

**Intervalo:** De G05-CB-503 hasta G05-CB-571.

**Definición:** LO de *Sphenolithus distentus* hasta LO de *Helicosphaera recta* y/o LO de *Sphenolithus ciperoensis*

Está basada en la presencia continuada de *Sphenolithus conicus*, *Sphenolithus dissimilis* y *Triquetrorhabdulus*

*carinatus*, seguida por la desaparición de *Reticulofenestra bisecta*. Ha sido recomendado durante muchos años el uso del último registro de *Sphenolithus ciperoensis* para definir la base de NN1 (Okada & Bukry, 1980). Sin embargo, esta especie es común en latitudes bajas y está casi siempre ausente en latitudes altas. La secuencia de Carmen-Zambrano muestra claramente el último registro de *Sphenolithus ciperoensis* y *Reticulofenestra bisecta*, siendo más difícil en el caso de *Sphenolithus distentus* dado su escasa abundancia en la secuencia. En este nivel se registra también la LO de *Chiasmolithus altus*.

Perch-Nielsen (1985), Berggren et al. (1995), Fornaciari et al., (1996) & Young (en Bown, 1998) sugieren redefinir la base de NN1 (y por consiguiente el techo de NP25) como en el último registro de *Reticulofenestra bisecta*.

#### **NN1 *Triquetrorhabdulus carinatus* Zone**

(CN1) *Triquetrorhabdulus carinatus* Zone (CN1a) *Cyclicargolithus abisectus* y (CN1b) *Discoaster deflandrei* Subzone

**Intervalo:** G05-586.

**Definición:** LO de *Helicosphaera recta* y/o LO *Sphenolithus ciperoensis* hasta FO de *Discoaster druggii*

NN1 es usualmente reconocida como la zona base del Mioceno. **Bukry (1973)** resalta en la parte más baja de esta zona (CN1a) la presencia común de *Cyclicargolithus abisectus* y en la siguiente (CN1b) caracterizada por poca diversidad, la presencia relativamente común de *Discoaster deflandrei*. Aumenta la abundancia de *Triquetrorhabdulus carinatus* y *Cyclicargolithus floridanus*. Aunque la recristalización es evidente en varios individuos, se ha podido identificar la presencia de *Discoaster druggii* en la base de esta zona, registrándose mayores abundancias hacia el límite con NN2.

Es importante resaltar que en esta zona y/o en la base de NN2 el Mioceno está caracterizado por la ausencia de nanoflora en las muestras (G05-CB-610 y G05-CB-619), lo que impide que algunos eventos se registren con una mayor precisión.

#### **NN2 *Discoaster druggii* Zone**

(CN1) *Triquetrorhabdulus carinatus* Zone (CN1c) *Discoaster druggii* Subzone

**Intervalo:** G05-CB-600 hasta G05-CB-679.

**Definición:** FO de *Discoaster druggii* hasta LO de *Triquetrorhabdulus carinatus*

La base de esta zona estaría representada por la primera aparición de *Helicosphaera ampliaperta* aunque en la asociación no llega a ser abundante en ningún intervalo y la presencia frecuente de *Discoaster druggii*, eventos que ya han sido definidos (en Bolli *et al.*, 1985). Además de la LO de *Helicosphaera recta*.

De acuerdo con (Oszczypko *et al.*, 2005) la presencia simultánea de *Sphenolithus conicus*, *Sphenolithus disbelemnus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica* y *Triquetrorhabdulus carinatus*, caracterizan esta zona. En la sección estudiada, la primera aparición de *Sphenolithus disbelemnus* es identificada, lo que estaría de acuerdo con lo sugerido por Young (en Bown, 1998), donde su FO y la de *Umblicosphaera rotula* son eventos bioestratigráficos característicos de la parte inferior de NN2. En la asociación no se identificó *Umblicosphaera rotula*, aunque se registra la presencia de algunos individuos de *Umblicosphaera* spp. *Triquetrorhabdulus carinatus* en algunos niveles es muy abundante.

#### **NN3 *Sphenolithus belemnus* Zone** (CN2) *Sphenolithus belemnus* Zone

**Intervalo:** G05-CB-693.

**Definición:** LO de *Triquetrorhabdulus carinatus* hasta LO de *Sphenolithus belemnus*

Martini (1971) propone la LO de *Triquetrorhabdulus carinatus* para distinguir la base de NN3, pero este marcador es generalmente considerado, no ser tan confiable (ver discusión en Maiorano & Monechi, 1998). Rio *et al.* (1990) y Fornaciari *et al.* (1993) consideran que la disminución en la abundancia de *Triquetrorhabdulus carinatus* en la base de CN1c es un dato más confiable.

Bukry (1973) sugiere que primera aparición de *Sphenolithus belemnus* para reconocer la base de CN2; en tanto que la LO de esta especie sería un marcador confiable para el límite NN3/NN4 y un evento secundario para definir el tope de CN2. La LO de *Triquetrorhabdulus carinatus* para la sección de Carmen–Zambrano se habría presentado aquí, justo antes de la FO de *Sphenolithus disbelemnus* reconocida en un nivel más joven, evento ya descrito en Bown (1998).

#### **NN4 *Helicosphaera ampliaperta* Zone** (CN3) *Helicosphaera ampliaperta* Zone. Aproximadamente.

**Intervalo:** G05-CB-700.

**Definición:** LO de *Sphenolithus belemnus* hasta LO de *Helicosphaera ampliaperta*

La presencia de *Sphenolithus heteromorphus* caracteriza este intervalo, siendo en general abundante. Este es también un intervalo en el que se comienza a registrar una alta diversidad en las especies coccolitoforales: la mayoría de los taxones del Mioceno Inferior, como *Helicosphaera obliqua* y *Coronocyclus nitences* aún persisten y hacen parte de la asociación junto con nuevas especies donde se destacan *Calcidiscus premacintyre* y *Discoaster exilis*. (Bown, 1998).

#### **NN5 *Sphenolithus heteromorphus* Zone** (CN4) *Sphenolithus heteromorphus* Zone

**Intervalo:** G05-CB-708.

**Definición:** LO de *Helicosphaera ampliaperta* hasta LO de *Sphenolithus heteromorphus*

Este nivel representa el techo de la secuencia estudiada, dado que la muestra más joven de la sección (G05-CB-711) no presenta nanoflora. Ambos, Martini (1971) y Okada & Bukry (1980) usan la LO de *Helicosphaera ampliaperta* para subdividir el largo intervalo entre NN4 y N54. Su ocurrencia, sin embargo, es frecuentemente esporádica (como se observa en los sedimentos estudiados), particularmente hacia su LO, lo que hace que no se presente como un marcador muy confiable (Bown, 1998). Aún más, en la sección de superficie estudiada, la LO de *Helicosphaera ampliaperta* se registra mucho antes, en NN2 (?); lo que confirma su esporádica continuidad en el registro.

## **CONCLUSIONES**

Las muestras contienen en líneas generales, de abundante a común, especímenes de *Cyclicargolithus floridanus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra minutula*, *Reticulofenestra media*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*. Común aparecen taxones del género *Sphenolithus* y en algunos niveles de *Helicosphaera*. En tanto que, los *Discoastéridos* (*Discoastéridos*?) aparecen en poca abundancia, registrándose un considerable incremento hacia el final de la secuencia, lo que estaría en concordancia con la idea de que prefieren aguas más cálidas, condiciones que habrían prevalecido después del Óptimo Climático del Mioceno que finalizaría hacia ~15 Ma (Zachos *et al.*, 2001).

Las biozonas identificadas abarcan un periodo comprendido entre el Oligoceno Inferior (Rupeliense) hasta el Mioceno Medio (Langhiense-Serravalliense), correspondientes a las zonas NP23 (CP18) hasta la NN5 (CN4) de Martini (1971) y Okada & Bukry (1980).

La abundante presencia de múltiples taxones de algas coccolitoforales y nanofósiles calcáreos razonablemente bien preservados, caracterizan la secuencia de Carmen-Zambrano, lo que la hace óptima para potenciales estudios paleoceanográficos de mayor resolución y profundización. Tales estudios requieren un muestreo sistemático más resolutivo, la comparación con otras secciones de continente y de costa afuera; donde la posibilidad de obtener otros indicadores importantes, como los estudios isotópicos, permitirían una datación de la secuencia más confiable.

## REFERENCIA

- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C., y Aubry, M. P. (1995). A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. En: *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation* (eds. W. Berggren, D. Kent, M. Aubry y J. Hardenbol). *SEPM Spec. Publ.*, Vol. 54, pp. 129–212.
- Bolli, H.M., Saunders, J.B., y Perch-Nielsen, K. (1985). *Plankton Stratigraphy*, (eds. Bolli H.M; Saunders, J.B y Perch-Nielsen, K). *Cambridge Earth Science Series*. 1032 p.
- Bown, P.R. (1998). *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, (eds. Paul Bown). *Chapman & Hall*. 315 p.
- Bukry, D. (1975). Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, northwestern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project, Leg 32. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. 32, pp. 677-701.
- Bukry, D. (1973). Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, Tasman Sea and Southern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg21. *Initial Report Deep Sea Drilling Project*, Vol. 21, pp. 885–893.
- Crux, A.J, y Van Heck, S . E. (1989). Nannofossils and their applications. Jason A. Crux y Shirley E. Van Heck Eds. *Proceedings of the International Nannofossil Association Conference, London 1987. British Micropaleontological Society Series*. 1032 p.
- Duque-Caro, H. (1968). Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. *Boletín de Geología de la Universidad Industrial de Santander*, Vol. 24, pp. 71-87.
- Duque-Caro, H. (1972a). Cielos tectónicos y sedimentarios de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. *Boletín Geológico*, Vol. 19, No. 3, pp. 1-23.
- Duque-Caro, H. (1975). Los foraminíferos planctónicos y el Terciario de Colombia. *Revista Española de Micropaleontología* Vol. 7, No. 3, pp. 403-427.
- Flores, J.-A., y Sierro, F. J. (1997). Revised technique for calculation of calcareous nannofossil accumulation rates. *Micropaleontology*, Vol. 43, pp. 321-324.
- Fornaciari, E., Raffi, I., Rio, D., Villa, G., Backman, J., y Olafsson, G. (1990). Quantitative distribution patterns Oligocene and Miocene calcareous nannofossils from the western equatorial Indian Ocean. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 115, pp. 237–254.
- Fornaciari, E., y Rio, D. (1996). Latest Oligocene to early middle Miocene quantitative nannofossil biostratigraphy in the Mediterranean region. *Micropaleontology*, Vol. 42, pp. 1–36.
- Garecka, M. (2005). Calcareous nannoplankton from the Podhale Flysch (Oligocene–Miocene, Inner Carpathians, Poland). *Studia Geologica Polonica*, Vol. 124, pp. 353–369.
- Gartner, S. (1992). Miocene nannofossil chronology in the North Atlantic, DSDP Site 608. *Marine Micropaleontology*, Vol. 18, pp. 307-331.
- Maiorano, P., y Monechi, S. (1998). Revised correlations of Early and Middle Miocene calcareous nannofossil events and magnetostratigraphy from DSDP Site 563 (North Atlantic Ocean). *Marine Micropaleontology*, Vol. 35, pp. 235–255.
- Martini, E. (1971). Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. En: Farinacci, A. (Ed.), *Proceedings of the II Planktonic Conference*. Roma 1970, 2: pp. 739–785.
- Martini, E., y Müller, C. (1986). Current Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton stratigraphy and correlations. *Newsletter Stratigraphy*, Vol. 16, pp. 99–112.
- Okada, H., and Bukry, D. (1980). Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology*, Vol. 5, pp. 321–325.
- Oszczypko, N; Oszczypko-Clowes, M., Golonka, J., y Marko, F. (2005). Oligocene-Lower Miocene sequences of the Pieniny Klippen Belt and adjacent Magura Nappe between Jarabina and the Poprad River (East Slovakia and South Poland): their tectonic position and palaeogeographic implications. *Geological Quarterly*, Vol. 49, pp. 379–402.

Perch-Nielsen, K. (1985). Mesozoic calcareous nannofossils. En: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, Cambridge; pp. 329–426.

Petters, V., Sarmiento, R. (1956) Oligocene and Lower Miocene Biostratigraphy of Carmen-Zambrano area, Colombia. *Micropaleontology*, Vol. 2, No. 1, pp. 7-35.

Raffi, I., y Flores, J-A. (1995). Pleistocene through Miocene calcareous from eastern equatorial Pacific Ocean (Leg 138). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 138, pp. 233-286.

Rio, D., Fornaciari, E., and Raffi, I. (1990). Late Oligocene through early Pleistocene calcareous nannofossils from the western equatorial Indian Ocean (Leg 115). In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 138, pp. 233-286.

Stone, B. (1968). Planktonic foraminiferal zonation in the Carmen-Zambrano area, Colombia, *Micropaleontology*, Vol. 14, No. 3, pp. 363-364.

Theodoridis, S.A. (1984). Calcareous nannofossil biozonation of the Miocene and revision of the helicoliths and discoaster, *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, Vol. 32, pp. 1-271.

Varol, O. (1989). Palaeocene Calcareous nanofossil biostratigraphy, in: *Nannofossils and their applications*, (eds J.A. Crux y S.E. van Heck), *British Micropalaeontological Society Series*, Ellis Horwood Limited, Chichester, pp. 267-310.

Zachos, J.C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., y Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, Vol. 292, pp. 686–693.

---

---

Trabajo recibido: marzo 30 de 2007

Trabajo aceptado: julio 18 de 2007