

## Foraminíferos bentónicos en el Barremiano inferior de la Formación Paja (Boyacá-Santander, Colombia): Evidencias preliminares de un posible bioevento

## Lower Barremian benthic foraminifera on the Paja Formation (Boyacá-Santander, Colombia): Preliminary evidences from a possible bioevent

GERMAN DAVID PATARROYO-CAMARGO<sup>1</sup>

PEDRO PATARROYO<sup>2</sup>

CARLOS ALBERTO SÁNCHEZ-QUIÑÓNEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E-mail: [germandavidp@yahoo.cm.mx](mailto:germandavidp@yahoo.cm.mx)

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Cr. 30 N. 45-03, Bogotá

E-mail: [pcpatarroyog@unal.edu.co](mailto:pcpatarroyog@unal.edu.co)

E-mail: [casanchez@unal.edu.co](mailto:casanchez@unal.edu.co)

Patarroyo-Camargo, G.D., Patarroyo, P. & Sánchez-Quiñónez, C.A. (2009): Foraminíferos bentónicos en el Barremiano inferior de la Formación Paja (Boyacá-Santander, Colombia): Evidencias preliminares de un posible bioevento.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 34, pp. 111-122, 5 Figs., Bogotá.

### RESUMEN

El estudio preliminar de una serie de afloramientos del Cretácico inferior en los sectores de Villa de Leyva, y Vélez-Chipatá (Boyacá-Santander, Colombia) permitió la identificación de una proporción elevada del foraminífero bentónico calcáreo *Epistomina caracolla* (ROEMER), en niveles de composición biosparítica para la parte media de la Formación Paja. Los foraminíferos bentónicos en todos estos puntos se encuentran asociados a los géneros de amonoides *Pseudohaploceras*, *Pedioceras*, *Nicklesia*, *Buergliceras* y *Karsteniceras*, cuya presencia conjunta con los foraminíferos indica una edad de Barremiano inferior.

El análisis micropaleontológico y petrográfico de estos niveles calcáreos muestra características muy similares y la presencia homogénea de la asociación fósil encontrada hace que se consideren estos niveles calcáreos como un "bioevento" con posible relevancia estratigráfica dentro de la Formación Paja.

La baja diversidad en los foraminíferos bentónicos podría indicar un ambiente anóxico, fuertemente conectado a la línea de costa y a condiciones hipersalinas. El hecho de que la macrofauna se encuentre dispuesta en forma caótica ayuda a soportar esa conclusión.

Palabras Clave: *Barremiano inferior*, *bioevento*, *Cordillera Oriental Colombiana*, *foraminíferos bentónicos*, *Formación Paja*.

### ABSTRACT

The preliminary study of several lower Cretaceous outcrops near Villa de Leyva, and Chipatá-Vélez sectors (Boyacá-Santander, Colombia) allowed the identification of high content of the calcareous benthic foraminifera *Epistomina caracolla* (ROEMER) over biosparitic limestones in the middle part of the Paja Formation. Benthic foraminifera in all these points are associated with the ammonites *Pseudohaploceras*, *Pedioceras*, *Nicklesia*, *Buergliceras* and *Karsteniceras*, that indicate a lower Barremian age.

Micropaleontologic and petrographic studies of these calcareous levels show a great similarity in their characteristics and the homogeneous presence of the identified fossil association supports the designation of a bioevent with possible stratigraphic relevance in the Paja Formation.

The low diversity in the benthic foraminifera would indicate an anoxic environment, strongly connected with shoreline and hyper-saline conditions. This previous asseveration is helped because the macrofauna presents a chaotic disposition.

Key words: *Benthic foraminifera, bioevent, Colombian Eastern Cordillera, Lower Barremian, Paja Formation.*

## INTRODUCCION

El Cretáceo inferior en la Cordillera Oriental de Colombia, está representado por una secuencia de lodolitas, niveles calcáreos y arenitas, con una variada exposición en la región, y un contenido paleontológico abundante, lo que ha permitido que haya sido estudiado por diversos autores desde hace ya varias décadas (e.g. BÜRGL 1954; ETAYO-SERNA 1968a, 1968b, PATARROYO 2000, 2004, HOEDEMAEKER 2004).

Los estudios micropaleontológicos han mostrado su gran potencial en los sedimentos del Cretácico superior de la Cordillera Oriental de Colombia (e.g. CUSHMAN & HERBERG 1941, PETTERS 1955, MARTINEZ 1989, VERGARA 1994, VILLAMIL & ARANGO 1998, TCHEGLIAKOVA & MOJICA 2001). Sin embargo pocos esfuerzos se han hecho por profundizar en el contenido micropaleontológico de la secuencia del Cretácico inferior salvo el trabajo de PETTERS (1954) y algunas referencias vagas que mencionan la presencia de estos organismos para esa época (e.g. BÜRGL 1960, BALLESTEROS & NIVIA 1985, MARTINEZ & VERGARA 1999, PARRA 2000).

El estudio de los foraminíferos (principalmente bentónicos) en los sedimentos del Cretácico inferior desde hace mas de 60 años en otras partes del mundo ha mostrado la importancia que tienen estos organismos como herramientas bioestratigráficas ya que poseían una distribución geográfica muy amplia (BETTENSTADT & WICHER 1955, KAHN 1952, BARTENSTEIN 1976, BARTENSTEIN & KOVATCHEVA 1982, RIEGRAF & LUTERBACHER 1989) y presentan un comportamiento bioestratigráfico muy homogéneo (MOULLADE 1984, BARTENSTEIN 1979, BARTENSTEIN & BOLLI 1986, BOLLI *et al.* 1994).

Trabajos en esta parte del continente americano como los de MAYNC (1949), PETTERS (1954), GUILLAUME *et al.* (1972) o GÖRÖG & ARNAUD-VANNEAU (1996) han mostrado el potencial que pueden tener los foraminíferos bentónicos como un complemento de las herramientas bioestratigráficas tradicionalmente usadas (amonitas y bivalvos).

El estudio de los sedimentos de la Formación Paja (Hauteriviano – Aptiano más alto) aflorantes en tres puntos de la Cordillera Oriental por PATARROYO-CAMARGO *et al.* (2009) registró la presencia de una inusual acumulación de foraminíferos bentónicos calcáreos en un nivel calcáreo y asociados a amonoideos del Barremiano temprano.

Este estudio muestra los resultados del análisis mi-

cropaleontológico y petrográfico del estrato calcáreo reportado por PATARROYO-CAMARGO *et al.* (2009) y presenta la identificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos que se hallan en el mismo. Se hacen observaciones acerca de las condiciones paleoecológicas de estos niveles calcáreos que pueden complementar los modelos de depósito para la Formación Paja, ya discutidos por otros autores (e.g. BÜRGL 1954, ETAYO-SERNA 1968b, FORERO & SARMIENTO 1982).

Igualmente la información taxonómica obtenida es comparada con los datos bioestratigráficos que se tienen de los foraminíferos bentónicos en el Cretácico inferior de Colombia y los esquemas bioestratigráficos propuestos para el norte de Sudamérica.

## MARCO GEOLÓGICO

El material objeto de este estudio corresponde al reportado por PATARROYO-CAMARGO *et al.* (2009) en las secciones de la Formación Paja (Fig. 1) en el sector de la loma La Yesera (Villa de Leyva, Boyacá), la quebrada Giteña (Chipatá, Santander) y sobre la vía Vélez – Chipatá (Santander).

La Formación Paja en el sector de la loma La Yesera, se encuentra ubicada al suroccidente del municipio de Villa de Leyva haciendo parte de los flancos occidental y oriental del Anticlinal de Arcabuco y del Sinclinal de Villa de Leyva respectivamente, y presentando en conjunto un buzamiento regional hacia el oeste. Este sector ha sido trabajado en forma muy detallada por BÜRGL (1954), ETAYO-SERNA (1968a, 1968b), FORERO & SARMIENTO (1982), PATARROYO (2000, 2004) y HOEDEMAEKER (2004) siendo su enfoque principalmente paleontológico (distribución de las amonitas) y sedimentológico.

Hacia el noroccidente desde el área de Villa de Leyva, la sucesión de la Formación Paja en el sur de Santander al igual que el resto de la secuencia sedimentaria cretácica, se va manifestando dentro de una serie de pliegues regulares asociados a la estructura principal del Anticlinal de Vélez (ver SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL 1966, ULLOA & RODRIGUEZ 1984, ROYERO & CLAVIJO 2000, MANTILLA-FIGUEROA *et al.* 2003), y sobre su flanco occidental, se encuentran las secciones de donde se extrajo el material de estudio de esta zona.

## FORMACIÓN PAJA

La Formación Paja en el área de Villa de Leyva es dividida en tres segmentos por ETAYO-SERNA (1968b): "Nivel



**Fig. 1. Mapa de localización de las zonas objetos de estudio en el presente trabajo (Modificado de HOEDEMAEKER 2004).**

de lodolitas negras inferiores”, “Nivel de lodolitas abigarradas” y “Nivel de lodolitas con nódulos huecos”. La Formación Paja suprayace e infrayace transicionalmente a las formaciones Ritoque y San Gil Inferior respectivamente.

La capa calcárea objeto de este estudio se encuentra catalogada en la sección de la loma La Yesera como la “Muestra 131” de acuerdo con PATARROYO (2000, 2004, 2009), que se ubica hacia la parte inferior del “Nivel de lodolitas abigarradas”. Se encuentra ubicada en lo que FORRERO & SARMIENTO (1982) denominan como el Segmento I, y que a su vez comprende los segmentos A y B descritos por ETAYO-SERNA (1968b) para la sección de la loma La Yesera (Fig. 2a). También asociado a la base del “Nivel de lodolitas abigarradas” GUERRERO (2002) y HOEDEMAEKER (2004) proponen un límite de secuencia transgresiva.

En el sector de Vélez y Chipatá a diferencia de Villa de Leyva, la división informal de la Formación Paja que plantea ETAYO-SERNA (1968b), no es tan evidente dada la abundante vegetación y la aparente homogeneidad en sus características (e.g. color, litología), que no permite una exposición continua de las secciones. Sin embargo, la morfología y las relaciones estratigráficas con las formaciones Ritoque (PATARROYO 2008) y San Gil inferior (o Tablazo si se siguiera la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena), y la distribución estratigráfica de la macrofauna recolectada para este sector son similares a las re-

portadas para Villa de Leyva.

## MÉTODOS

El estrato calcáreo objeto del estudio, presenta un espesor aproximado de 40 cm en las tres secciones reportadas en PATARROYO-CAMARGO *et al.* (2009), siendo sus contactos superior e inferior de tipo ondulado neto, y presentando una continuidad lateral bastante irregular, lo que causa que en algunos puntos el mismo sea difícil de seguir (Figs. 2b-d). Análisis petrográficos y micropaleontológicos diagnósticos fueron efectuados en las tres secciones donde se reporta el nivel calcáreo (La Yesera, Giteña, vía Vélez – Chipatá).

Para el análisis micropaleontológico se usaron los métodos de preparación del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) (SOHN 1961) y ácido acético (THOMAS & MURNEY 1985) probando diferentes concentraciones y tiempos de exposición dada la competencia de la roca. El análisis petrográfico y que solo ha sido efectuado sobre las secciones de loma La Yesera y la vía Vélez – Chipatá, empleó las clasificaciones texturales y composicionales de DUNHAM (1962) y FOLK (1962). El análisis taxonómico de la microfauna encontrada siguió los criterios planteados en BARTENSTEIN & BOLLI (1977, 1986), WILLIAMSON & STAM (1988) y BOLLI *et al.* (1994).

Todo el material fue preparado en el Laboratorio de Procesamiento de Muestras Geológicas de ECOPETROL – ICP y en el Laboratorio de Petrografía de la Universidad Nacional de Colombia.

## PETROGRAFÍA Y PALEONTOLOGÍA DEL NIVEL CALCÁREO

El análisis petrográfico del nivel calcáreo mostró que corresponde a una caliza granosoportada (grainstone o bioesparita de acuerdo a DUNHAM (1962) o FOLK (1962) en el sector de loma La Yesera (Fig. 3a), y a una biomicrita (FOLK 1962) para el sector de la vía Vélez – Chipatá (Fig. 3b). El contenido de matriz calcárea es variable (3-21%) y se encuentra compuesta mayoritariamente por conchillas de foraminíferos bentónicos (33-34%) de gran tamaño (visibles en muestra de mano) y fragmentos de moluscos (18-26%). Igualmente se evidencia que el nivel calcáreo presentó los siguientes procesos diagenéticos: fracturamiento de la roca, sellado de las fracturas con sílice y precipitación de pirita (Figs. 3a-b).

El contenido fósil del nivel calcáreo está dado por la asociación de amonoides *Pseudohaploceras*, *Pedioceras*, *Nicklesia*, *Buergliceras* y *Karsteniceras* reportados previamente en la loma La Yesera por PATARROYO (2000,

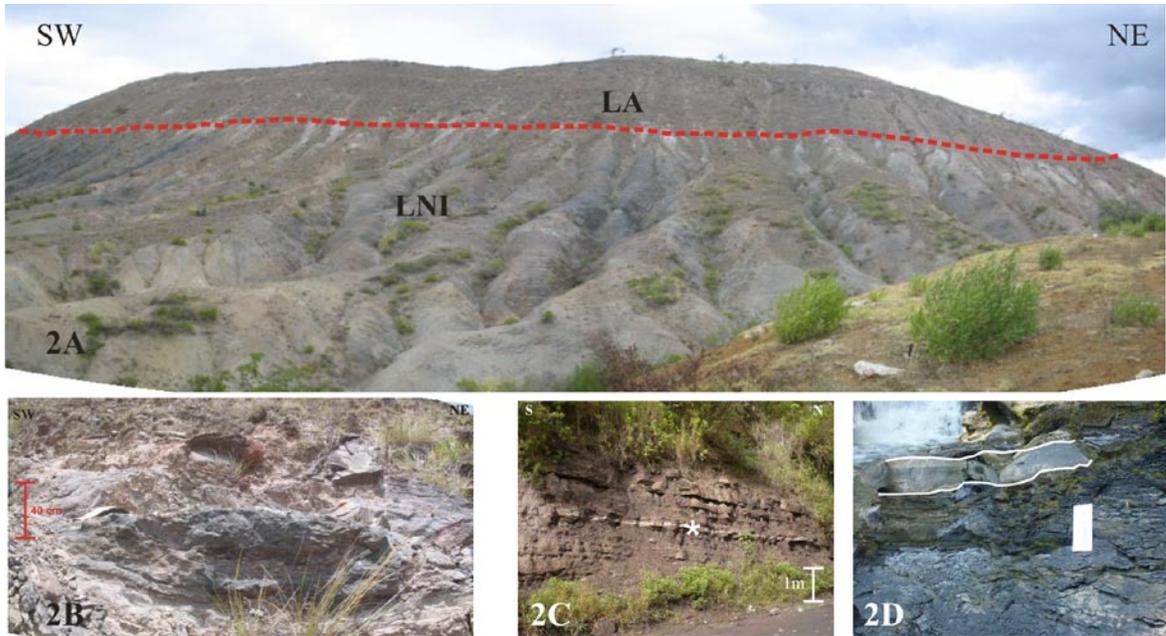


Fig. 2. Secciones de la Formación Paja estudiadas en el presente trabajo. 2A. Sección de la Loma La Yesera (Villa de Leyva) donde el nivel calcáreo estudiado se encuentra unos pocos metros por encima del contacto entre el Nivel de Lodolitas Negras Inferiores (LNI) y el Nivel de Lodolitas Abigarradas (LA) propuestos por ETAYO-SERNA (1968b); 2B. Acercamiento al nivel calcáreo en Loma La Yesera donde es visible su geometría irregular y el tipo de contacto que tiene con los niveles lodosos (neto ondulado); 2C. Afloramiento de la parte inferior de la Formación Paja en la vía Vélez - Chipatá (el asterisco representa el nivel calcáreo trabajado); 2D. Vista del nivel calcáreo (la escala equivale a 10 cm) presente en los sedimentos cortados por la quebrada Giteña (Chipatá).

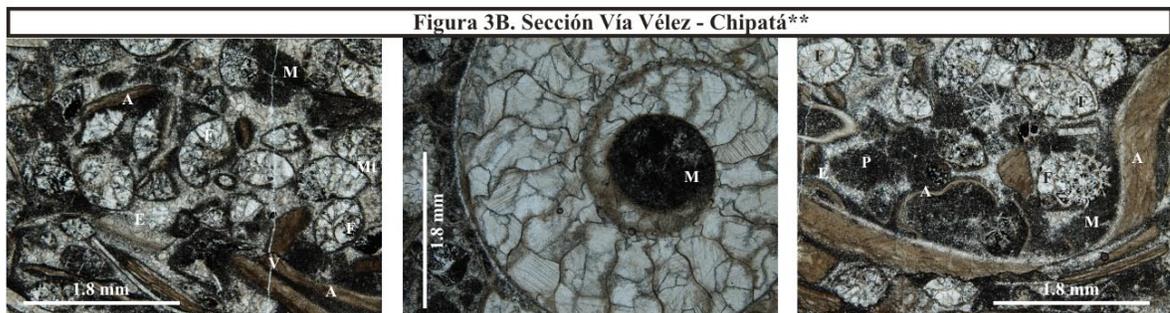
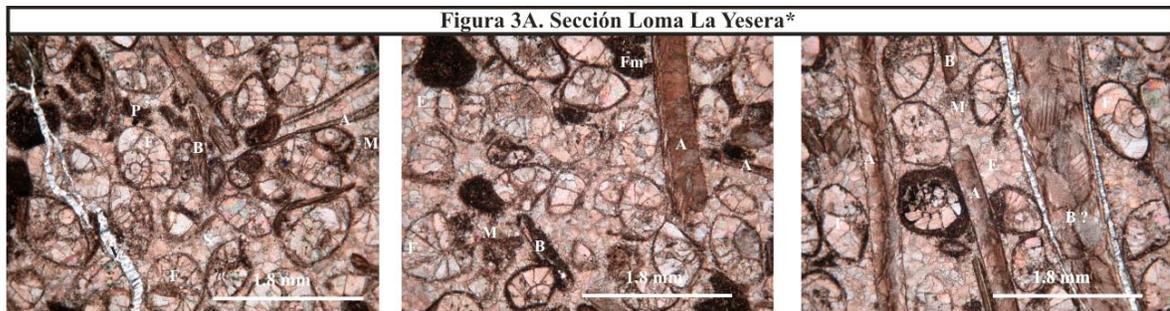


Fig. 3. Secciones delgadas del nivel calcáreo del Barremiano Temprano en la Formación Paja y evidencias del contenido inusual de foraminíferos bentónicos calcáreos presentes en el mismo. Fig. 3A - 3B. La nomenclatura usada en las secciones delgadas es la siguiente F: Foraminíferos bentónicos, E: Esparita, A: Fragmentos de amonitas, B: Fragmentos de bivalvos, M: Micrita, P: Pellets?, Fm: Conchillas de foraminíferos micritizadas, y V: Venillas ocupadas por sílice. \*La sección delgada fue tinturada para reconocer la composición de los diferentes tipos de carbonatos. \*\*La fotografía del medio corresponde a un acercamiento al corte en sección de un amonoideo; nótese la recristalización en los espacios generados por las cámaras de la concha.

2004, 2009) e identificados también en la quebrada Giteña y la vía Vélez - Chipatá (PATARROYO 2009). La disposición de estos organismos es caótica a lo largo del nivel calcáreo y se encuentra en conjunto con numerosos fragmentos de conchas. Los amonoideos frecuentemente presentan dentro del fragmácono restos de conchillas de foraminíferos y micrita (PATARROYO 2009).

El análisis micropaleontológico de las muestras y la taxonomía efectuada a los foraminíferos encontrados muestra que el contenido de la microfauna está dado por una asociación monotípica del bentónico calcáreo *Epistomina caracolla* (Roemer) acompañada en una menor proporción por moldes internos de gastrópodos (turritélidos), amonitas en estado embrionario y bivalvos (Figs. 4a-c).

A pesar que los análisis petrográficos y micropaleontológicos del nivel calcáreo de la quebrada Giteña no resultaron satisfactorios debido a la fuerte alteración de la roca, el contenido de la fauna (amonitas y foraminíferos), es claramente identificable en las muestras de campo.

El contenido de macro y microfósiles del nivel calcáreo

en los tres puntos analizados es tan parecido que se puede considerar como un bioevento, así que trabajos estratigráficos detallados en otras secciones con depósitos del Barremiano se hacen necesarios para corroborar la hipótesis.

#### SISTEMATICA

Los foraminíferos presentes en el nivel calcáreo, originalmente fueron descritos como *Osangularia* sp. por PATARROYO-CAMARGO & SANCHEZ (2008) pero una revisión taxonómica más detallada permitió la apropiada clasificación de estos ejemplares y que es la siguiente:

Orden FORAMINIFERIDA Eichwald, 1830  
 Suborden ROBERTININA Loeblich & Tappan, 1984  
 Superfamilia CERATOBULIMINACEA Cushman 1927  
 Familia CERATOBULIMINIDAE Cushman 1927  
 Genero *Epistomina* Terquem, 1883

Especie tipo - *Epistomina regularis* Terquem, 1883, p. 379, pl. 44, figs. 1-3.

*Epistomina caracolla* (Roemer 1841)  
 Fig. 4 (a-b)

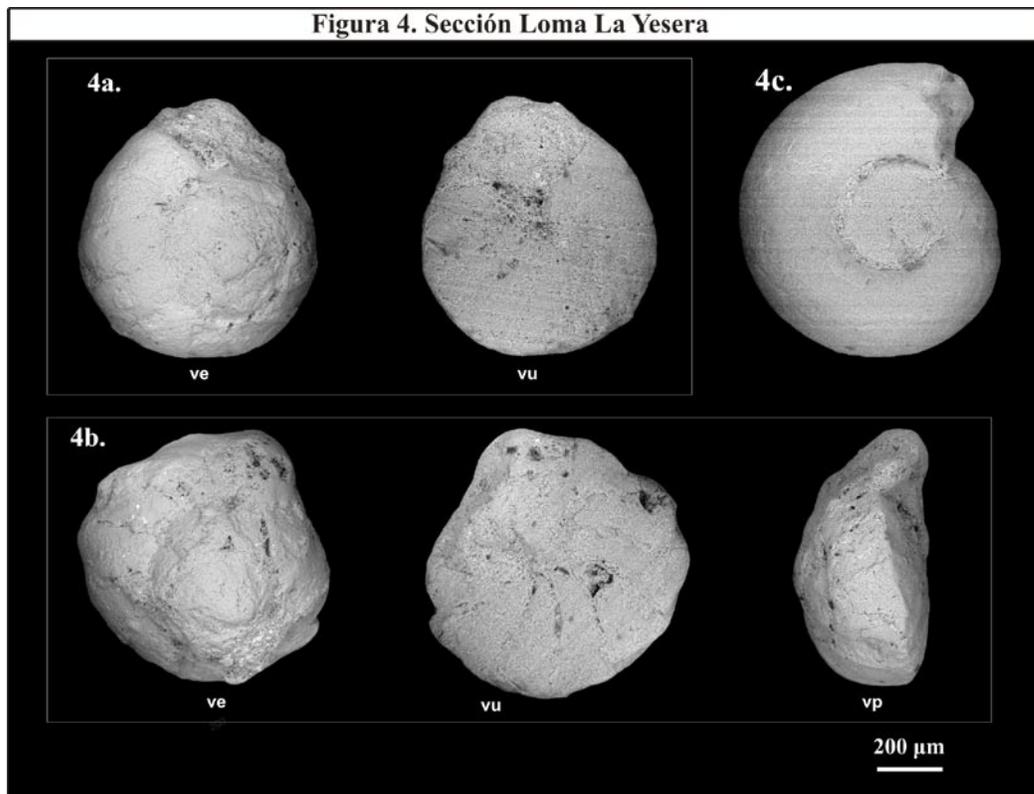


Fig. 4. Fotografías en microscopio electrónico de barrido (SEM) de la microfauna encontrada (a - c). Nomenclatura usada: ve: vista espiral, vu: vista umbilical, vf: vista periférica. c. amonita en estado embrionario.

- 1841 *Gyroidina caracolla* Roemer: p. 97, pl. 15, figs. 22a-c.  
1957 *Epistomina (Hoeglundina) caracolla caracolla* Roemer; Bartenstein, Bettenstaedt & Bolli: p. 46, pl. 5, figs. 113, 114, pl. 6, fig. 142.  
1967 *Epistomina caracolla* Roemer; Ohm: p. 136, pl. 18, fig. 3.  
1971 *Epistomina caracolla* Roemer; Bartenstein, Bettenstaedt & Kovatcheva: p. 137, pl. 2, fig. 28.  
1972 *Epistomina caracolla* Roemer; Neagu: p. 216, pl. 7, figs. 17-19.  
1973 *Epistomina caracolla* Roemer; Dailey: p. 78, pl. 14, fig. 5.  
1975 *Epistomina caracolla* Roemer; Kovatcheva: p. 37.  
1975 *Epistomina caracolla caracolla* Roemer; Neagu: p. 122, pl. 105, figs. 1-6, pl. 106, figs. 16-18.  
1976 *Epistomina caracolla* Roemer; Ascoli: p. 746, pl. 3, fig. 10.  
1977 *Epistomina caracolla* Roemer; Bartenstein & Bolli: p. 510, pl. 2, figs. 34, 35.  
1979 *Epistomina caracolla* Roemer; Butt: p. 166, pl. 2, figs. 2, 3, 5.  
1980 *Epistomina caracolla* Roemer; Sliter: p. 412, pl. 22, figs. 7-8.  
1982 *Epistomina caracolla* Roemer; Bartenstein & Kovatcheva: p. 648, pl. 4, fig. 8.  
1984 *Epistomina caracolla* Roemer; Hart: p. 293, pl. 1, figs. 13-19, pl. 2, fig. 15.  
1987 *Epistomina caracolla* Roemer; Williamson: p. 53, pl. 3, figs. 10, 11.  
1988 *Epistomina caracolla* Roemer; Williamson & Stam: p. 138, pl. 5, figs. 5-6.  
1994 *Epistomina caracolla* Roemer; Bolli, Beckmann & Saunders: p. 31, pl. 10, figs. 40-42.

**Descripción:** Conchillas de forma trocoide y superficie suave, ligeramente aplanadas en el lado dorsal y de tipo cónico ventralmente. Los ejemplares constan de 3-3.5 vueltas, teniendo entre 8-10 cámaras en la última vuelta. Presentan un diámetro promedio de 0.7-0.8 mm y un total de 16 a 20 cámaras con una sutura regular entre las mismas. Sobre el lado dorsal las cámaras varían de formas triangular a alargada-redondeada en la última vuelta. Las suturas de las cámaras son radiales y el margen de la periferia es ligeramente abrupto. La apertura en la mayoría de los casos se encuentra cubierta por sedimento pero se alcanza a observar que la misma va a lo largo del margen periférico (lateromarginal).

**Observaciones:** La característica más distintiva de esta especie respecto a otros epistomínidos radica en la superficie suave de las conchillas (e.g. ausencia de quilla) y el desarrollo de un lado ventral cónico pronunciado a diferencia del lado dorsal (WILLIAMSON & STAM, 1988). Los ejemplares de *E. caracolla* (Roemer) provenientes de

Trinidad de acuerdo a OHM (1967) y WILLIAMSON & STAM (1988) presentan una gran similitud con los ejemplares de *E. uhligi* (Myatlyuk) reportados en Crimea (MYATLYUK 1953), pero estos autores plantean que la apertura lateromarginal de *E. caracolla* corresponde a una característica propia de esta especie. Las grandes dimensiones de las conchillas en los especímenes encontrados en este trabajo muestran más similitudes con las dimensiones reportadas en ejemplares del norte de Alemania (BARTENSTEIN & BRAND 1951, 1987) que con los de Trinidad (BARTENSTEIN & BOLLI 1977, BOLLI *et al.* 1994).

El estado de preservación de los ejemplares estudiados en este trabajo es moderado debido a la recristalización de muchos de ellos.

**Rango:** Barremiano temprano – Biozona de *Lenticulina barri* a Aptiano temprano – Biozona de *Leupoldina protuberans* (ver BOLLI *et al.* 1994).

**Ocurrencia:** Norte de Alemania (ROEMER 1841, BARTENSTEIN & BRAND 1951, 1987, BETTENSTAEDT 1962), Trinidad (BARTENSTEIN *et al.* 1957, BARTENSTEIN & BOLLI 1977, BOLLI *et al.* 1994), Bulgaria (BARTENSTEIN *et al.* 1971, BARTENSTEIN & KOVATCHEVA 1982), Rumania (NEAGU 1972, 1975), California (DAILEY 1973), Balcanes (KOVATCHEVA 1975), Canadá (ASCOLI 1976, WILLIAMSON 1987, WILLIAMSON & STAM 1988), SE Islas Canarias (BUTT 1979), Atlántico Norte (SLITER 1980;), Argentina (MALUMIAN & NAÑEZ 1983), Reino Unido (HART 1984), Portugal (WILLIAMSON & STAM 1988), NW Australia (KAMINSKI *et al.* 1992).

## PALEOECOLOGÍA

De acuerdo con FORERO & SARMIENTO (1985, p. 11) los sedimentos del “miembro de arcillolitas abigarradas” donde se incluye el nivel calcáreo estudiado, fueron depositados entre los sectores intermareal y supramareal bajo una llanura de marea salina protegida de la influencia del mar libre.

La baja presencia de matriz calcárea observada en la caliza (notorio en el caso del nivel calcáreo de loma La Yesera), puede ser asociado a un ambiente de alta energía que limpió gran parte de la micrita (PATARROYO-CAMARGO *et al.* 2009). Igualmente, la acumulación caótica de los amonoides, las conchas indeterminadas que están asociadas, y el relleno de sus partes internas por material fino e incluso conchillas de *E. caracolla* muestran claramente que un episodio de alta energía facilitó el depósito mecánico de estos organismos (PATARROYO 2009).

La presencia de una acumulación elevada y monotípica de *E. caracolla* muestra condiciones ambientales muy restringidas con baja oxigenación y alta salinidad que

podieron favorecer la proliferación del mismo tipo de organismo. Diversos trabajos muestran el desarrollo de amplias áreas de sedimentación bajo condiciones deficitarias en oxígeno durante momentos de ascenso relativo del nivel del mar, por lo que las masas de agua empobrecidas en oxígeno son una consecuencia de condiciones de eutrofismo epipelágico (ROSENBERG & LOO 1988). Asociado a la parte inferior del "Nivel de lodolitas abigarradas" GUERRERO (2002) y HOEDEMAEKER (2004) proponen un límite de secuencia y el inicio de un sistema transgresivo. Además la parte inferior de la Formación Paja ("Nivel de lodolitas negras inferiores" *sensu* ETAYO-SERNA (1968b) presenta contenidos paleontológicos muy pobres y el análisis micropaleontológico preliminar en esta parte, como los efectuados por BÜRGL (1954) precisamente en la sección de loma La Yesera resultaron ser estériles en microfauna.

Asociaciones monotípicas del genero *Epistomina* han sido reportadas desde sedimentos del Jurásico inferior a medio en el sur de Inglaterra (WHATLEY 1965, COPESTAKE & JOHNSON 1989) y Argentina (BALLENT & WHATLEY 2000, SAGASTI & BALLENT 2002) atribuyéndolos a condiciones de oxígeno reducido y eventos transgresivos respectivamente.

Para el Cretácico inferior hay trabajos que documentan la presencia de *E. caracolla* asociada a ambientes con déficit de oxígeno en depósitos del Hauteriviano superior del

Norte de Alemania (BARTENSTEIN & BRAND 1951, BETTENSTAEDT 1962), y del Barremiano de la cuenca Austral de Argentina (MALUMIAN & NAÑEZ 1983). Igualmente, *E. loncochensis* (Ballent) ha sido reportado como asociación monotípica en depósitos con baja oxigenación en la Cuenca Neuquina de Argentina (SAGASTI & BALLENT 2002). Cabe mencionar que todos los trabajos mencionados reportan estos organismos en posiciones de plataforma no tan cercana a la línea de costa (ambientes neríticos distales).

El gran tamaño de los ejemplares de *E. caracolla* colectados en el nivel calcáreo estudiado en este trabajo permite hacer otras aseveraciones paleoecológicas. Los especímenes reportados en Trinidad (ver BOLLI *et al.* 1994) o Argentina (MALUMIAN & NAÑEZ 1983) son ostensiblemente más pequeños (0.2-0.4 mm) que los reportados en el nivel calcáreo de la Formación Paja, y solamente en el caso del Hauteriviano superior del Norte de Alemania, las especies recuperadas alcanzan y superan el milímetro de diámetro (BARTENSTEIN & BRAND 1951, 1987). Diversos trabajos muestran que condiciones de vida desfavorables provocan el desarrollo de ejemplares de mayor tamaño y la maduración más tardía de los foraminíferos en su ciclo de vida (BRADSHAW 1961, BOLTOVSKOY 1965) lo cual puede explicar el porqué del tamaño de *E. caracolla* en las muestras analizadas en este trabajo.

Otra posible explicación de la presencia monotípica de *E.*

PERIODO	PISOS	TRINIDAD	ORIENTE DE VENEZUELA	CORDILLERA ORIENTAL (COLOMBIA)			
		ZONAS FORAM. PLANCT. / BENT. (Saunders & Bolli, 1985; Bartenstein & Bolli, 1977)	ZONAS FORAM. PLANCT. / BENT. (Guillaume <i>et al.</i> 1972)	ZONAS DE ASOCIACIÓN FORAM. BENT. (Petters, 1954)	FORMACIONES		
CRETÁCICO TEMPRANO	ALBIANO	<i>Favusella washitensis</i>	<i>Rotalipora appenninica / Rotalipora ticinensis</i>	<i>Haplostiche texana</i>	San Gil	San Gil Inferior	
		<i>Rotalipora tic. ticinensis</i>					
			<i>Neobulimina primitiva</i>				<i>Orbitolina ex gr. concava texana</i>
			<i>Praeglobotruncana primitiva</i>				
	APTIANO		<i>Neobulimina subcretacea</i>	<i>Choffatella</i>	Paja		
		<i>Praeglobotruncana rohri</i>	<i>Praeglobotruncana rohri</i>				
		<i>Planomalina maridalensis</i>	<i>Praeglobotruncana infracretacea</i>				
			<i>Biglobigerinella barri</i>				
		<i>Leupoldina protuberans</i>	<i>Biglobigerinella cf. B. barri</i>				
	BARREMIANO		<i>Choffatella decipiens</i>				
		<i>Lenticulina ouach. ouachensis</i>		<i>Epistomina mosquensis</i>			
		<i>Lenticulina barri</i>		<i>Choffatella</i>			

Bioevento de *Epistomina caracolla* (ROEMER) ★

Fig. 5. Correlación de las biozonas propuestas para el Cretácico Inferior, y sus respectivas unidades litoestratigráficas para el Norte de Sudamérica (Modificado de BOLLI *et al.* 1994). \*Las biozonas y las unidades estratigráficas están acorde a GUILLAUME *et al.* (1972); \*\*Las asignaciones de edad para las unidades litoestratigráficas, siguen lo formulado por ETAYO-SERNA (1968a y b).

*caracolla* en el nivel calcáreo podría deberse simplemente a una acumulación mecánica selectiva producto de la “resistencia” que pudieron tener las conchillas a oscilaciones bruscas de energía en el ambiente de depósito como evidentemente corrobora la macrofauna. Sin embargo esta explicación no tiene en cuenta la composición aragonítica original de las conchillas, característica que por fenómenos de descalcificación en el caso de los epistominidos cause que haya un sesgo en la preservación de un registro fósil que por su propia naturaleza se encontrara siempre sesgado (WILLIAMSON & STAM 1988). Por ejemplo, en el Mar del Norte HART (1984) atribuye la ausencia de los epistominidos en esa área debido a exclusión ecológica, cuando es más probable que la naturaleza aragonítica de las conchillas cause que haya una distribución temporal e irregular de estos organismos si se compara con otros puntos (WILLIAMSON & STAM 1988).

El grado de “resistencia” de las conchillas es entonces una propiedad que no explica apropiadamente la acumulación monotípica de *E. caracolla* en el nivel calcáreo estudiado con las condiciones de alta energía que plantea PATARROYO (2009), ya que con condiciones energéticas elevadas lo que habría en realidad sería un detrimento del contenido de epistominidos en el registro fósil de este punto.

En conclusión las aseveraciones formuladas aquí muestran que una posible explicación para el contenido fósil del nivel calcáreo estudiado sería que la asociación monotípica de *E. caracolla* se dio en condiciones de baja oxigenación probablemente causados por el periodo transgresivo que se estaba generando en la secuencia (ver GUERRERO 2002) y que por un evento de alta energía fueron depositados junto con la macrofauna en una posición caótica. Este último detalle va en concordancia con los ambientes intermareales y supramareales de una zona costera como previamente ya afirmaban FORERO & SARMIENTO (1985) para la parte media de la Formación Paja.

#### EDAD DEL BIOEVENTO DE EPISTOMINA

La asociación de los amonoideos observada en el estrato calcáreo y compuesta por los géneros *Pseudohaploceras*, *Pedioceras*, *Nicklesia*, *Buergliceras* y *Karsteniceras* indican el Barremiano temprano. Este nivel en el sector de la loma La Yesera es asignado a la parte baja de la biozona de *Nicklesia pulchella* de acuerdo a PATARROYO (2000, 2004, 2009), posteriormente seguido por HOEDEMAEKER (2004).

La presencia de *E. caracolla* está en concordancia con la edad planteada con amonoideos ya que aunque se tiene reportado este organismo desde depósitos del Berriasiano más superior (HART 1984) en el Atlántico Norte hay consenso

entre la mayoría de los autores (e.g. BARTENSTEIN 1979, WILLIAMSON & STAM 1988, BOLLI *et al.* 1994) en que *E. caracolla* es muy común entre el Hauteriviano y el Barremiano más superior.

A continuación se discutirá el valor estratigráfico que tiene el hallazgo de *E. caracolla* en el nivel calcáreo analizado, haciéndose una comparación con los eventos y la bioestratigrafía basada en foraminíferos bentónicos del Cretácico inferior de Colombia y del Norte de Sudamérica (Fig. 5).

El trabajo de PETERS (1954) corresponde al primer y más detallado trabajo acerca de los eventos de foraminíferos bentónicos en el Cretáceo inferior de Colombia. Basándose en información previa recolectada por diversos reportes internos de diferentes compañías petroleras (e.g. Richmond Petroleum, Texas Petroleum), este autor estudia una serie de secciones y material de pozos ubicados en la Cordillera Oriental y propone cuatro zonas de asociación de foraminíferos bentónicos: *Choffatella*, *Epistomina mosquensis*, *Orbitolina* ex. gr. *concava texana* y *Haplostiche texana* que albergan un rango entre el Hauteriviano más superior y el Albiano superior (Fig. 5). Cabe mencionar que material de la Formación Paja proveniente del sector de Villa de Leyva (Boyacá) o de Vélez (Santander) no fue estudiado por dicho autor.

Si se compara el rango de edad más común de *E. caracolla* con los rangos propuestos para las zonas de asociación de PETERS (1954) se observa que el mismo estaría comprendido en los rangos propuestos de las zonas de asociación *Choffatella* y *Epistomina mosquensis*. Un estudio detallado del contenido de foraminíferos de la zona de asociación *Choffatella* reportado por PETERS (1954) muestra sin embargo que está se encuentra constituida en su totalidad por formas aglutinantes, y adicionalmente los niveles de este género en América han sido reportados hasta el Albiano en Venezuela (MAYNC 1949), el sur de Florida, EU (JORDAN & APPLIN 1952) y hasta el Aptiano en Trinidad (ver BOLLI *et al.* 1994) México, (OMANA-PULIDO & PANTOJA-ALOR 1998) y el oriente de Venezuela (GUILLAUME *et al.* 1972). Su comparación entonces con el bioevento de *E. caracolla* reportado en el nivel calcáreo de la Formación Paja no tiene mayor sentido.

La zona de *E. mosquensis* planteada por PETERS (1954) tiene como único constituyente a esta especie y su rango de edad abarca el Barremiano. Igualmente, es significativo el hecho de que las dos localidades donde identifica esta especie (Palmita, Magdalena; vía Apulo-Viotá, Cundinamarca) se encuentran separadas por una distancia considerable. Sin embargo, los especímenes de

*E. mosquensis* (UHLIG) que es una especie muy diferente de *E. caracolla*, a nivel mundial solo han sido reportados desde el Calloviano (COLEMAN 1981) hasta el Titoniano (ver WILLIAMSON & STAM 1988), hecho que también deja plasmado PETTERS (1954) en su trabajo. Igualmente, a diferencia de las otras zonas que plantea el autor la zona de *E. mosquensis* no tiene un soporte bioestratigráfico basado en macrofauna (amonitas y bivalvos) que sustente esa edad. Una revisión taxonómica detallada de los especímenes que se encuentran en las secciones reportadas por PETTERS (1954) permitirá clarificar entonces la presencia de esta especie y por ende su asociación o incluso sinonimia con el evento de *E. caracolla* reportado en la Formación Paja.

Los foraminíferos para el Cretáceo inferior en el norte de Sudamérica, han sido utilizados como herramienta bioestratigráfica en Trinidad (BARTENSTEIN *et al.* 1957, 1966, 1973, BARTENSTEIN & BOLLI 1977, 1986), el oriente de Venezuela (GUILLAUME *et al.* 1972), México (OMAHNA-PULIDO & PANTOJA-ALOR 1998) y en una forma menos detallada por MAYNC (1949) para otras zonas del Caribe (occidente de Venezuela, Cuba, México y el sur de Florida). La presencia de *E. caracolla* es únicamente reportada en Trinidad (BARTENSTEIN & BOLLI 1977) y a pesar que su ocurrencia en esa área es baja, presenta un rango de edad que comprende el Barremiano al igual que los ejemplares del nivel calcáreo de la Formación Paja. El hecho de que no se encuentren especímenes de *E. caracolla* en una región cercana como la Serranía del Interior en el oriente de Venezuela (GUILLAUME *et al.* 1972) y que presenta una biozonificación muy parecida a la de Trinidad (Fig. 5) podría obedecer a factores ecológicos como ya reportaba HART (1984) en el Mar del Norte o incluso BARTENSTEIN & BOLLI (1986) para Trinidad; o ser simplemente una vez más consecuencia del sesgo en el registro fósil que puede generar la naturaleza aragonítica original de las conchillas en los epistominidos (WILLIAMSON & STAM 1988).

Finalmente, aunque tanto en este trabajo, como en las secciones trabajadas en PETTERS (1954) no se reporta la presencia de foraminíferos planctónicos, breves referencias de su presencia en el Cretáceo inferior de Colombia se tienen reportadas en la región de Tequendama (MARTINEZ & VERGARA 1999) y Pijao (AREVALO *et al.* 2001) en la Cordillera Central. De igual forma para el sector de Apulo, Hermann Duque-Caro (com. pers.) reporta en una serie de pozos la presencia de *Hedbergella sigali* (Barremiano de acuerdo con CARON 1985) asociada a foraminíferos bentónicos del género *Lenticulina* (genero muy común en el Cretáceo inferior de Trinidad y el oriente de Venezuela). Estudios más detallados de la secuencia del Cretáceo inferior en Colombia podrían ayudar a entender que relación pueden tener los eventos de foraminíferos bentónicos reportados hasta ahora y estos reportes preliminares de foraminíferos planctónicos.

## CONCLUSIONES

El evento de foraminíferos bentónicos estudiado en este trabajo, dada la asociación faunística existente, ocurrió en el Barremiano temprano (zona de *Nicklesia pulchella* de acuerdo con PATARROYO (2000, 2004, 2009). El análisis taxonómico del material recolectado permite la identificación de una asociación monotípica *E. caracolla* (ROEMER). La presencia de una asociación paleontológica similar (amonoideos y foraminíferos) en los tres puntos analizados soportan la afirmación de que el estrato calcáreo pueda registrar un bioevento con una importancia en la bioestratigrafía de los depósitos del Barremiano inferior para Colombia y la región.

Para explicar la asociación monotípica de estos foraminíferos se plantean condiciones de baja oxigenación probablemente asociadas a un ascenso progresivo del nivel del mar como reportan diversos autores para el Barremiano (e.g. GUERRERO 2002), y que por un evento de alta energía fueron depositados junto con la macrofauna en una posición caótica como previamente reporta PATARROYO (2009). Esto último, va en concordancia con lo planteado por FORERO & SARMIENTO (1985) respecto al carácter marino somero de esta parte de la Formación Paja.

La presencia de *E. caracolla* en el Barremiano es un evento ampliamente reportado en otras partes del mundo por lo que el estudio más detallado de este evento en los depósitos del Barremiano inferior, y su comparación con los otros eventos de foraminíferos bentónicos y planctónicos ya reportados para el norte de Suramérica, puede ayudar a dilucidar mejor la distribución de estos episodios en las sedimentitas del Barremiano de Colombia ya que la información actual no permite elaborar un esquema bioestratigráfico claro.

## AGRADECIMIENTOS

G. P. - C. agradece al Dr. Alan Lord del Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum por su gentil colaboración en la obtención de varios artículos acerca de la microfauna de Trinidad. Un especial agradecimiento a Hermann Duque-Caro por sus valiosos comentarios acerca de la micro-estratigrafía del Cretáceo inferior en Colombia. Diana Espitia del Grupo de Bioestratigrafía en ECOPETROL-ICP aportó con sugerencias e ideas en la elaboración de este artículo. Igualmente a ECOPETROL-ICP se debe la preparación del material micropaleontológico y las fotografías en SEM de la microfauna. Guillermo Parra y Edwin Escarraga apoyaron con mucha paciencia y buena actitud en las repetidas jornadas de campo en Villa de Leyva buscando el nivel calcáreo. Igualmente se agradece a los diversos grupos de campo en las salidas de Paleontología por Boyacá y Santander

de la Universidad Nacional de Colombia por su buena disposición en campo.

P. P. agradece a la División de Investigaciones sede Bogotá (DIB Universidad Nacional de Colombia) por la financiación del proyecto "Amonitas del Barremiano, parte central de Colombia" y al DAAD (Organismo de Intercambio Académico de Alemania) por otorgar la beca A/95/01865 bajo la asesoría del Prof. Dr. Wolfram Blind y el Priv. D. Dr Joachim Blau de la Universidad de Giessen.

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias hechas por los revisores de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AREVALO, O.J., MOJICA, J. & PATARROYO, P. (2001): Sedimentitas del Aptiano tardío al sur de Pijao, Quebrada La Maizena, Flanco occidental de la Cordillera Central, Departamento de Quindío, Colombia. *Geología Colombiana*, 26, pp. 29-43. Bogotá.
- ASCOLI, P. (1976): Foraminiferal and ostracod biostratigraphy of the Mesozoic-Cenozoic, Scotian Shelf, Atlantic Canada. *Maritime Special Publication* 1, pp. 673-671. Canada.
- BALLENT, S.C. & WHATLEY, R. (2000): The composition of Argentinian Jurassic marine ostracods and foraminiferal faunas: environment and zoogeography. *Geobios* 33 (3), pp. 365-376.
- BALLESTEROS, I. & NIVIA, A. (1985): La Formación Ritoque: Registro sedimentario de una albufera de comienzos del Cretácico. Etayo-Serna-Serna F. & Laverde, F., eds. *Proyecto Cretácico. Publ. Geol. Esp.* 16. Cp. XIV, pp. 1-17. Bogotá.
- BARTENSTEIN, H. (1976): Foraminiferal zonation of the Lower Cretaceous in North West Germany and Trinidad, West Indies. An attempt. *Neues Jahrb. Geol. Paläontol., Monatsh.*, 3, pp. 187-192.
- BARTENSTEIN, H. (1979): Worldwide zonation of the Lower Cretaceous using benthonic foraminifera. *Newsl. Stratigr.* 7 (3), pp. 142-154.
- BARTENSTEIN, H., BETTENSTAEDT, F. & BOLLI, H.M. (1957): Die Foraminiferen der Unterkreide von Trinidad, B. W. I. Erster Teil: Cucho und Toco Formation. *Eclogae geol. Helv.* 50 (1), pp. 5-56. Basel.
- BARTENSTEIN, H., BETTENSTAEDT, F. & KOVATCHEVA, T. (1971): Foraminiferen des bulgarischen Barrême. Ein Beitrag zur weltweiten Unterkreide-Stratigraphie. *N. Jb. Geol. Paläont. (Abh.)* 139 (2), pp. 125-162.
- BARTENSTEIN, H. & BOLLI, H. M. (1977): The Foraminifera in the Lower Cretaceous of Trinidad, W.I. Part 4: Cucho Formation, upper Part; Leupoldina protuberans Zone. *Eclog. geol. Helv.* 70 (2), pp. 543-573. Basel.
- BARTENSTEIN, H. & BOLLI, H. M. (1986): The Foraminifera in the Lower Cretaceous of Trinidad. W.I. Part 5: Maridale Formation, upper part; Hedbergella rohri Zone. *Eclog. geol. Helv.* 79 (3), pp. 945-999. Basel.
- BARTENSTEIN, H. & BRAND, E. (1951): Mikropaläontologische Untersuchungen zur Stratigraphie des nordwestdeutschen Valendis. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* 485, pp. 239-336.
- BARTENSTEIN, H. & BRAND, E. (1987): *Epistomina ohmi* n. sp., an index foraminifer in the Valanginian of Central Europe (Protista: Foraminiferida; Lower Cretaceous). *Senckenbergiana lethaea* 68, pp. 249-253.
- BARTENSTEIN, H. & KOVATCHEVA, T. (1982): A comparison of Aptian foraminifera in Bulgaria and North West Germany. *Eclog. geol. Helv.* 75 (3), pp. 621-677. Basel.
- BETTENSTAEDT, F. (1962): Evolutionsvorgänge bei fossilen Foraminiferen. *Mitteilungen des Geologischen Staatsinstituts* 31, pp. 385-460.
- BETTENSTAEDT, F. & WICHER, C.A. (1955): Stratigraphic correlation of Upper Cretaceous and Lower Cretaceous in the Tethys and Boreal by aid of microfossils (Germany). *Proc. Fourth World Petr. Congr., sect. 1*, pp. 493-516.
- BOLLI, H., BECKMANN, J. & SAUNDERS, J. (1994): Benthic foraminiferal biostratigraphy of the South Caribbean region, Cambridge University press, 408 pp.
- BOLTOVSKOY, E., 1965. Los foraminíferos recientes. EUDEBA, Buenos Aires.
- BRADSHAW, J.S. (1961): Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research Contributions* 12, pp. 67-106.
- BÜRGL, H. (1954): El Cretáceo inferior en los alrededores de Villa de Leyva y zonas próximas. *Boletín Geológico*, 2 (1), pp. 5-22. *Inst. Geol. Nal. Bogotá*.
- BÜRGL, H. (1960): Geología de la Península de la Guajira. *Boletín Geológico*, 6 (1-3), pp. 129-168. *Inst. Geol. Nal. Bogotá*.
- BUTT, A. (1979): Lower Cretaceous foraminiferal biostratigraphy, paleoecology, and depositional environment at DSDP Site 397, Leg 47A. *Rad, U., et al, eds. Initial Reports of Deep Sea Drilling Project, Volume 47 (1)*, pp. 257-271. Washington, D.C.
- CARON, M. (1985): Cretaceous planktic Foraminifera. Bolli, H.M., Saunders J.B. & Perch-Nielsen K., eds. *Planktic Stratigraphy*, pp. 17-86. Cambridge University Press.
- COLEMAN, B. (1981): The Bajocian to Callovian. Jenkins, D.G. & Murray, J.W., eds, *Stratigraphical atlas of fossil foraminifera*, pp. 106-124. Ellis-Horwood Ltd., Chichester.
- COPESTAKE, P. & JOHNSON, B. (1989): Jurassic. Part 6. The Hettangian to Toarcian (Lower Jurassic). Jenkins, D.G. & Murray, J.W., eds. *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera, second edition.*, pp. 129-188. Ellis Horwood Ltd., Chichester.
- CUSHMAN, J.A. (1927): Recent foraminifera from off the West Coast of North America: California University, Scripps Institution of Oceanography, Bulletin, Berkeley, California, Technical Series, vol. 1, p. 149.

- CUSHMAN, J.A. & HEDBERG, H.D. (1941): Upper Cretaceous foraminifera from Santander del Norte, Colombia, S. A. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Contributions, 17, pp. 19-100.
- DAILEY, D.H. (1973): Early Cretaceous foraminifera from the Budden Canyon Formation North West Sacramento Valley, California. University of California Publications in Geological Sciences, 106, pp. 1-100.
- DUNHAM, R. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. AAPG Memoir, 1, pp. 108-121, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- EICHWALD, E. (1830): Zoologia specialis Rossiae in universum et Poloniae in specie, v. 2, 22 pgs.
- ETAYO-SERNA, F. (1968a): Sinopsis estratigráfica de la región de Villa de Leyva y zonas próximas. Boletín de Geología, 21, pp. 19-32. UIS, Bucaramanga.
- ETAYO-SERNA, F. (1968b): El Sistema Cretácico en la región de Villa de Leyva y zonas próximas. Geología Colombiana, 5, pp. 5-74. Bogotá.
- FOLK, R. L. (1962): Spectral subdivision of limestone types, p. 62-84. In W. E. HAM (ed.), Classification of carbonate rocks. AAPG Memoir, 1, pp. 62-84. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- FORERO, H. & SARMIENTO, L. (1982): Ambiente de sedimentación del miembro de arcillolitas abigarradas, Formación Paja, área de Villa de Leyva. Trabajo de grado. 188 pags. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- FORERO, H. & SARMIENTO, L. (1985): Las facies evaporítica de la Formación Paja en la región de Villa de Leyva. Etayo-Serna-Serna F. & Laverde, F. Proyecto Cretácico. Publ. Geol. Esp. 16. Cp. XVII, pp. 1-16. Bogotá.
- GÖRÖG, A. & ARNAUD-VANNEAU, A. (1996): Lower Cretaceous Orbitolinas from Venezuela. Micropaleontology 42 (1), pp. 65-78.
- GUERRERO, J. (2002): A proposal on the classification of systems tracts: Application to the allostratigraphy of the Cretaceous Colombian Basin. Part.2: Barremian to Maastrichtian- Geología Colombiana, 27, pp. 27-49. Bogotá.
- GUILLAUME, H. A. BOLLI, H. M. & BECKMANN, J. P. (1972): Estratigrafía del Cretáceo Inferior en la Serranía del Interior, oriente de Venezuela. Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano, vol. III, pp. 1619-55. Bol. Geol. Minist. Minas 5. Venezuela.
- HART, M.B. (1984): The superfamily Robertinacea in the Lower Cretaceous of the UK and adjacent areas of NW Europe. Oertli, H.J., ed. Benthos 83, 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera, pp. 289-298. Centre Recherche Pau, Bulletin, SNPA. Pau – Bordeaux.
- HOEDEMAEKER P. (2004): On the Barremian – lower Albian stratigraphy of Colombia. Donovan, S.K., ed. Early Cretaceous ammonites from Colombia. Scripta Geologica 128. pp. 3-15. National Museum of History Naturalis. Leiden.
- JORDAN, L. & APPLIN, E.R. (1952): Choffatella in the Gulf Coastal regions of the United States and description of Anchispirocyclus n. gen. Cushman Foundation of Foraminiferal Research Contribution 3, pt. 1.
- KAHN, M.H. (1952): Zonal analysis of the Lower Gault of Kent base on foraminifera. Cushman Foundation of Foraminiferal Research Contribution, 3, pp. 371-380.
- KAMINSKI, M.A., GRADSTEIN, F.M. & GEROCH, S. (1992): Uppermost Jurassic to Lower Cretaceous deep-water benthic foraminiferal assemblages from site 765 on the Argo Abyssal Plain. Gradstein, F. M., et al, eds. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 123, pp. 239-269.
- KOVATCHEVA, T. (1975): Foraminifera from the Aptian stage in the Fore-Balkan and the Northeastern part of the Moesian Platform. I: The Bedulian Substage. Bulgar. Acad. Sci. (Paleont. Stratigr. Lithol.), 2, pp. 35-47.
- LOEBLICH, A. & TAPPAN, H. (1984): Suprageneric Classification of the Foraminifera (Protozoa).- Micropaleontology, 30, pp. 1-70.
- MALUMIAN, N. & NAÑEZ, C. (1983): Foraminíferos de ambiente anóxico de la Formación Río Mayer (Cretácico inferior), provincia de Santa Cruz. Ameghiniana, 20, pp. 367-393.
- MANTILLA-FIGUEROA, L.C., CRUZ, G.L.E. & COLEGIAL, G.J.D. (2003): Introducción a la Geología del Sector Vélez-Bolívar-Guavatá (Depto. De Santander, Colombia) y su importancia para la Exploración de Recurso Hidrotermales. Boletín de Geología, 25, pp. 39-55. UIS, Bucaramanga.
- MARTINEZ, J.I. (1989): Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Maastrichtian Colon mudstones of northern South America. Micropaleontology, 35, pp. 97-113.
- MARTINEZ, J.I. & VERGARA, L.E. (1999): La sucesión paleoambiental del Cretácico de la Región del Tequendama y oeste de la Sabana de Bogotá. Geología Colombiana, 24, pp. 107-147. Bogotá.
- MAYNC, W. (1949): The foraminiferal genus Choffatella (Schlumberger) in the Lower Cretaceous (Urgonian) of the Caribbean Region (Venezuela, Cuba, Mexico and Florida). Ecol. geol. Helv. 42 (2), p. 529. Basel.
- MYATLYUK, E.V. (1953): Spirillinides, Rotallinides, Epistominides and Astigerinides. Fossil foraminifera of the USSR, State Scientific Technical Publication of Petroleum and Mining Fuel Literature, Leningrad Branch, 71, pp. 1-274.
- MOULLADE, M. (1984): Intérêt des petits foraminifères benthiques "profonds" pour la biostratigraphie et l'analyse des paléoenvironnements océaniques mésozoïques. Oertli, H.J., ed. Benthos 83, 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera, pp. 429-464. Centre Recherche Pau, Bulletin, SNPA. Pau – Bordeaux.
- NEAGU, T. (1972): The Eo-Cretaceous foraminiferal fauna from the area between the Ialomitza and Prahova valleys (Eastern Carpathians). Revista Española de Micropaleontología, 4 (2), pp. 181-224.
- NEAGU, T. (1975): Monographie de la faune des Foraminifères éocretacés du Couloir de Dîmbovicioara, de Codlea et des Monts Persani (Couches de Carhaga). Mém. Inst. Geol.

- Géophys., 25, pp. 1-141.
- OHM, U. (1967): Zur Kenntnis der Gattungen *Reinholdella*, *Garantella* und *Epistomina* (Foramin.). *Palaeontographica*, Bd. 27, Abt. A.
- OMAÑA-PULIDO, L. & PANTOJA-ALOR, J. (1998): Early Aptian benthic foraminifera from the Cajón Formation, Huetamo, Michoacán, SW México. *Rev. Mex. Ciencias Geológicas*, 15 (1), pp. 64-72. UNAM – Soc. Geol. Mex.
- PARRA, M. (2000): Estratigrafía y Petrografía del Cretácico Inferior en el Parque Natural Chingaza y la Cuenca Alta del Río Guatiquía, Cundinamarca y Meta, Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- PATARROYO, P. (2000): Distribución de amonitas del Barremiano de la Formación Paja en el sector de Villa de Leyva (Boyacá, Colombia). *Bioestratigrafía.- Geología Colombiana*, 25, pp. 149-162. Bogotá.
- PATARROYO, P. (2004): Die Entwicklung der Ammoniten der Familie Pulchelliidae aus dem Barrême von Zentral-Kolumbien. *Revue de Paléobiologie*, 23 (1), pp. 1-65. Ginebra.
- PATARROYO, P. (2008): La Formación Ritoque en el área de Vélez (Santander-Colombia). *Notas Geológicas. Geología Colombiana*, 33, pp. 109-110. Bogotá.
- PATARROYO, P. (2009): Amonitas de un nivel de alta energía del Barremiano inferior en la Formación Paja de los sectores de Villa de Leyva (Boyacá) y de Vélez (Santander). *Memorias (CD) XII Congreso Colombiano de Geología. Paipa, Colombia*.
- PATARROYO-CAMARGO, G.D. & SANCHEZ, C. (2008). Lower Barremian benthonic foraminifera from a calcareous bed in the Paja Formation (Villa de Leyva, Colombia). Abstract. 33 International Geological Congress. Oslo, Noruega.
- PATARROYO-CAMARGO, G.D., PATARROYO, P. & SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, C.A. (2009): Un evento de foraminíferos bentónicos en el Barremiano inferior de la Formación Paja (Boyacá-Santander, Colombia). *Memorias (CD) XII Congreso Colombiano de Geología. Paipa, Colombia*.
- PETTERS, V. (1954): Typical foraminiferal horizons in the Lower Cretaceous of Colombia, S.A. Cushman Foundation for Foraminiferal Research Contributions, Contract, 112 (5), pp. 128-137.
- PETTERS, V. (1955): Development of Upper Cretaceous foraminiferal faunas in Colombia. *J. Paleont.*, 29 (2), pp. 212 – 225.
- RIEGRAF, W. & LUTERBACHER, H. (1989): Bentonische Foraminiferen aus der Unterkreide des "Deep Sea Drilling Project" (Leg 1-79). *Geologische Rundschau*, 78 (3), pp. 1063-1120. Stuttgart.
- ROEMER, F.A. (1841): Die Versteinerungen des nord-deutschen Kreidegebirges. *Hahn'sche Hofbuchhandlung*, pp. 1-45.
- ROSENBERG, R. & LOO, L.O. (1988): Marine eutrophication induced oxygen deficiency: effects on soft bottom fauna, western Sweden. *Ophelia*, 29, pp. 213-225.
- ROYERO, J.M. & CLAVIJO, T.J. (2000): Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander, Memoria explicativa. INGEOMINAS. 92 p. Bucaramanga, Colombia.
- SAGASTI, G. & BALLENT, S. (2002): Caracterización microfaunística de una transgresión marina: Formación Agrio (Cretácico inferior), Cuenca Neuquina, Argentina. *Geobios*, 35, pp. 721-734.
- SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL (1966): Geología del Cuadrángulo I-11 Cimitarra. Escala 1:200.000. Bogotá.
- SLITER, W. (1980): Mesozoic foraminifers and deep sea benthic environments from DSDP sites 415 and 416 eastern North Atlantic. Lancelot, Y. & Winterer, E.L., eds. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 50*, pp. 353-415. Washington, D.C.
- SOHN, I. G. (1961): Techniques for preparation and study of fossil Ostracodes in *Treatise on Invertebrate Paleontology*, part Q, Arthropoda, 3, pp. Q63 – Q70. Geological Society of America. University Kansas Press.
- TCHegliakova, N. & MOJICA, J. (2001): El Senoniano de la Barrera de Girardot-Guataquí, Valle Alto del Magdalena, Colombia: Precisiones sobre la Estratigrafía y Establecimiento de una Zonación Micropaleontológica.- *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, XXV, 94, pp. 37-75. Bogotá D. C.
- TERQUEM, O. (1883): Cinquième mémoire sur les foraminifères du système Oolithique de la zone à Ammonites parkinsoni de Fontoy (Moselle), p. 379. Metz.
- THOMAS, F.C & MURNEY, M.G. (1985): Techniques for extraction of foraminifera and ostracodes from sediment samples. *Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences*, 54, 32 pages.
- ULLOA, C. & RODRÍGUEZ, E. (1984): Mapa geológico preliminar de la plancha 170 Vélez. Escala 1:100.000, Ingeominas. Bogotá.
- VERGARA, L. (1994): Stratigraphic, Micropaleontologic and Organic Geochemical relations in the Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia. Tesis de Doctorado. 210 pags. Justus-Liebig Universität, Giessen, Alemania.
- VILLAMIL, T. & ARANGO C. (1998): Integrated Stratigraphy of latest Cenomanian-Early Turonian Facies of Colombia. Pindell, J. & Drake, C., eds. *Eustasy and Tectonostratigraphic Evolution of Northern South American*, pp. 129-159, Society for Sedimentary Geology, Special Publication 58.
- WHATLEY, R. (1965): Callovian and Oxfordian Ostracoda from England and Scotland. Tesis de Doctorado. University of Hull. Reino Unido.
- WILLIAMSON, M.A. (1987): A quantitative foraminiferal biozonation of the Late Jurassic and Early Cretaceous of the East Newfoundland Basin. *Micropaleontology* 33 (1), pp. 37-65.
- WILLIAMSON, M.A. & STAM, B. (1988): Jurassic/Cretaceous Epistominidae from Canada and Europe. *Micropaleontology* 34 (2), pp. 136-158.