

DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS EN EL SANTONIENSE Y SU RELACIÓN CON EL EVENTO ANÓXICO EAO3: FORMACIÓN LA LUNA, RÍO SAN MIGUEL, ESTADO MÉRIDA

OLGA REY

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería,
Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela.

Recibido: agosto de 2006

Recibido en forma final revisado: octubre de 2007

RESUMEN

La Formación La Luna, en la sección del río San Miguel, está caracterizada por margas negras intercaladas con calizas negras depositadas en un ambiente nerítico superior a batial superior en condiciones anóxicas/disóxicas. Cambios en las asociaciones de foraminíferos aportan información de los factores que influyeron en la acumulación de depósitos ricos en materia orgánica durante el Santoniense. Los foraminíferos béticos sugieren que la tendencia general en la acumulación de carbono orgánico en esta área estuvo principalmente controlada por variaciones en el contenido de oxígeno en la interfase agua-sedimento. Durante el Santoniense tardío, una tendencia de enfriamiento en el clima global promovió la intensificación de vientos fríos y de la surgencia, este cambio probablemente redujo las precipitaciones que trajo como consecuencia un debilitamiento de la pycnoclina y desestabilizó la estratificación de la columna de agua, disminuyendo la preservación del carbono orgánico total en una cuenca más somera. Cambios en el clima global y en la circulación oceánica resultado de la profundización y ampliación del Atlántico Ecuatorial, pudieron ser mecanismos importantes que marcan el final de la anoxia que fue común en el norte de Suramérica durante el Cretáceo Tardío.

Palabras clave: Formación La Luna, Cuenca de Maracaibo, Santoniense, Foraminíferos plácticos y béticos, Evento anóxico oceánico, Cambio climático.

SANTONIAN FORAMINIFERS DISTRIBUTION AND THEIR RELATION WITH THE OAE3 ANOXIC EVENT: LA LUNA FORMATION SAN MIGUEL RIVER, MERIDA STATE

ABSTRACT

The La Luna Formation, in the San Miguel river section, is characterized by black marlstones interbedded with black limestones deposited under anoxic/dysoxic conditions in the upper neritic to upper bathyal environment. Changes in foraminifera assemblages provide insights into factors that influenced the accumulation of organic-rich deposits during Santonian time. The benthic foraminifera data suggests that the general trend in the accumulation of carbon-rich deposits in this region was mainly controlled by variations in dissolved oxygen at the sediment-water interface in the early Santonian. During the late Santonian a cooling-trend in global climate increased wind strength and upwelling, this change probably reduced runoff causing a weakening of the pycnocline and destabilized the stratification in the water column, decreasing the total organic carbon preservation in a shallower basin. Global climate change and the establishment of full mid- and deep-water exchange in response to the deepening and widening of the Equatorial Atlantic Gateway could have been important mechanisms for ending the region-wide anoxia that was common in northern South America during the Late Cretaceous.

Keywords: La Luna Formation, Maracaibo basin, Santonian, Planktic and benthic foraminifera, Ocean anoxic event, Climate change.

INTRODUCCIÓN

Tanto en el fondo oceánico como en la superficie, se ha

reportado un extenso registro de sedimentos pelágicos cretácicos ricos en materia orgánica, depositados en una variedad de marcos paleotectónicos y paleogeográficos.

Tres intervalos de tiempo definen las mayores ocurrencias de estas facies, los cuales reciben el nombre de «eventos anóxicos oceánicos» (EAO's), y se ubican a finales del Barremiense y a través del Aptiense-Albiense (EAO1), en el límite del Cenomaniense-Turonense (EAO2) y una manifestación menor durante el Coniaciense-Santoniense (EAO3)(Jenkyns, 1980). La génesis de los eventos anóxicos oceánicos es especulativa debido a que no existe un análogo moderno (Parrish, 1995). Factores como ascenso del nivel del mar, eventos volcánicos, existencia de un clima cálido y características de la circulación oceánica, han sido propuestos para explicar la génesis de estos eventos (Schlanger y Jenkyns, 1976; Jenkyns, 1980; Arthur *et al.* 1987; 1990; Graciansky *et al.* 1987; Bralower and Thierstein, 1987; Jones y Jenkyns, 2001; Poulsen *et al.* 2001; entre otros). Diversos autores han observado en estos depósitos, la existencia de variaciones cíclicas que se corresponden con las frecuencias principales de los parámetros orbitales (De Boer, 1982; van Buchem *et al.* 1995; Wagner *et al.* 2001; Wilson y Norris, 2001; entre otros). Todos estos eventos estuvieron asociados con cambios mayores en la biota caracterizados por extinciones y especiaciones, los grupos más afectados fueron los foraminíferos plácticos, los radiolarios y el nannopláncton calcáreo (Premoli-Silva y Sliter, 1999; Premoli-Silva *et al.* 1999; Leckie *et al.* 2001).

En comparación con la extensa investigación que se ha desarrollado en los dos primeros eventos anóxicos, es poco lo que se conoce de la evolución del evento anóxico del Coniaciense-Santoniense, el cual documenta un importante paso de la transición del efecto «greenhouse» durante el Cretáceo al efecto de «icehouse» del Cenozoico (Wagner *et al.* 2001; Hofmann *et al.* 2003). El evento EAO3 no tuvo el carácter global de su antecesor, la acumulación de depósitos ricos en carbono orgánico estuvo confinada principalmente a ambientes someros en zonas de surgencia y en mares epicontinentales (Arthur *et al.* 1990). Depósitos ricos en materia orgánica han sido descritos en Norte y Suramérica, en el Atlántico Sur y en el Caribe, en Inglaterra, noroeste de Alemania e Italia (Hay, 1988; Jenkyns *et al.* 1994).

La Formación La Luna, en el occidente de Venezuela, se caracteriza por presentar depósitos ricos en materia orgánica a una escala poco común, en cuanto a espesores y duración en el tiempo geológico, siendo considerada la principal roca generadora de hidrocarburos en la Cuenca de Maracaibo. Esta unidad fue depositada en un margen pasivo bajo condiciones anóxicas a disóxicas durante el Cenomaniense tardío al Campaniense (Galea-Álvarez, 1989; De Romero y Galea-Álvarez, 1995; Lugo y Mann, 1995; Parnaud *et al.* 1995; Lorente *et al.* 1997; Villamil y Pindell, 1998; y referencias allí citadas). Diversos autores han reportado contenidos particularmente elevados de carbono orgánico en el límite

Cenomaniense-Turonense, así como en el Coniaciense y Santoniense temprano, disminuyendo rápidamente durante el Santoniense tardío. Estos intervalos han sido correlacionados con los eventos anóxicos EAO2 y EAO3 (Truskowski *et al.* 1998; Pérez-Infante *et al.* 1996; Erlich, 1999; Rey *et al.* 2004).

El objetivo de este trabajo es estudiar las variaciones en el grupo de foraminíferos durante el Santoniense y su relación con el evento anóxico EAO3. Para ello se escogió la sección superior de la Formación La Luna que aflora en el río San Miguel, localizado al oeste de la población Mesa Bolívar, estado Mérida, entre las coordenadas 8° 28' a 8° 29' latitud norte y 71° 39' 30" a 71° 40' 00" longitud oeste (figura 1). En esta localidad, el contenido de carbono orgánico total expresado en porcentaje p/p (COT) reportado para esta formación varía entre 0,3 a 5,54%, los valores mayores de COT se presentan hacia la base de la sección (promedio ~ 4%), disminuyendo hacia el tope de la formación (promedio ~ 2%) (Rey *et al.* 2004). La edad asignada a esta unidad en esta localidad es Santoniense – Campaniense temprano (Rey *et al.* 2004; Machado y Rey, 2004), lo que permite correlacionar este intervalo con el evento EAO3.

Este estudio contribuirá a incrementar el conocimiento de las condiciones que prevalecieron a finales del evento EAO3 en el margen noroccidental de Venezuela.

ESTRATIGRAFÍA LOCAL

La Formación La Luna en la sección estudiada aflora de forma continua en el núcleo de un anticlinal simétrico, infrayacente a las lutitas de la Formación Colón. Presenta un espesor aproximado de 22 m, el contacto inferior no está expuesto y el contacto con la unidad suprayacente está cubierto y se asume concordante.

De acuerdo con la descripción de Rey *et al.* (2004), la Formación La Luna en esta localidad se caracteriza por la presencia de margas negras intercaladas con calizas negras, siendo común la presencia de concreciones de tamaño variable (0,30 a 1,50 m de longitud) y, en menor proporción, capas silicificadas muy delgadas con espesores entre 3 y 20 cm. La laminación es una característica dominante a lo largo de la sección, sin embargo, hacia el tope de la unidad se observan niveles bioturbados a nivel petrográfico, caracterizados por secciones más o menos circulares (de pocos milímetros a 1 cm de diámetro) rellenas de foraminíferos, o por la interrupción de la laminación. Dos unidades informales pueden ser reconocidas. En la unidad inferior dominan las margas, concreciones y capas silicificadas, mientras que en la unidad superior incrementan las calizas, las concreciones y capas silicificadas son

escasas. El tope de la formación presenta un nivel fosfático-glaucónico de un metro de espesor conocido como Miembro Tres Esquinas (figura 1).

La fracción de aloquímicos está compuesta principalmente por foraminíferos (3-30%), en menor proporción pueden observarse restos de peces fosfatizados, intraclastos fosfatizados (< 3%) y fragmentos de inocerámidos (< 1%), éstos últimos están presentes principalmente en la unidad

inferior. En ocasiones, en las calizas pueden observarse niveles con concentraciones elevadas de restos de peces e intraclastos fosfatizados (> 40%), siendo particularmente abundantes en la base de la unidad superior (figura 1). Estos componentes están embebidos en una matriz formada por lodo carbonático, arcillas y materia orgánica. En las calizas de la unidad superior, se observa cuarzo detrítico en una proporción menor al 1% (Rey *et al.* 2004).

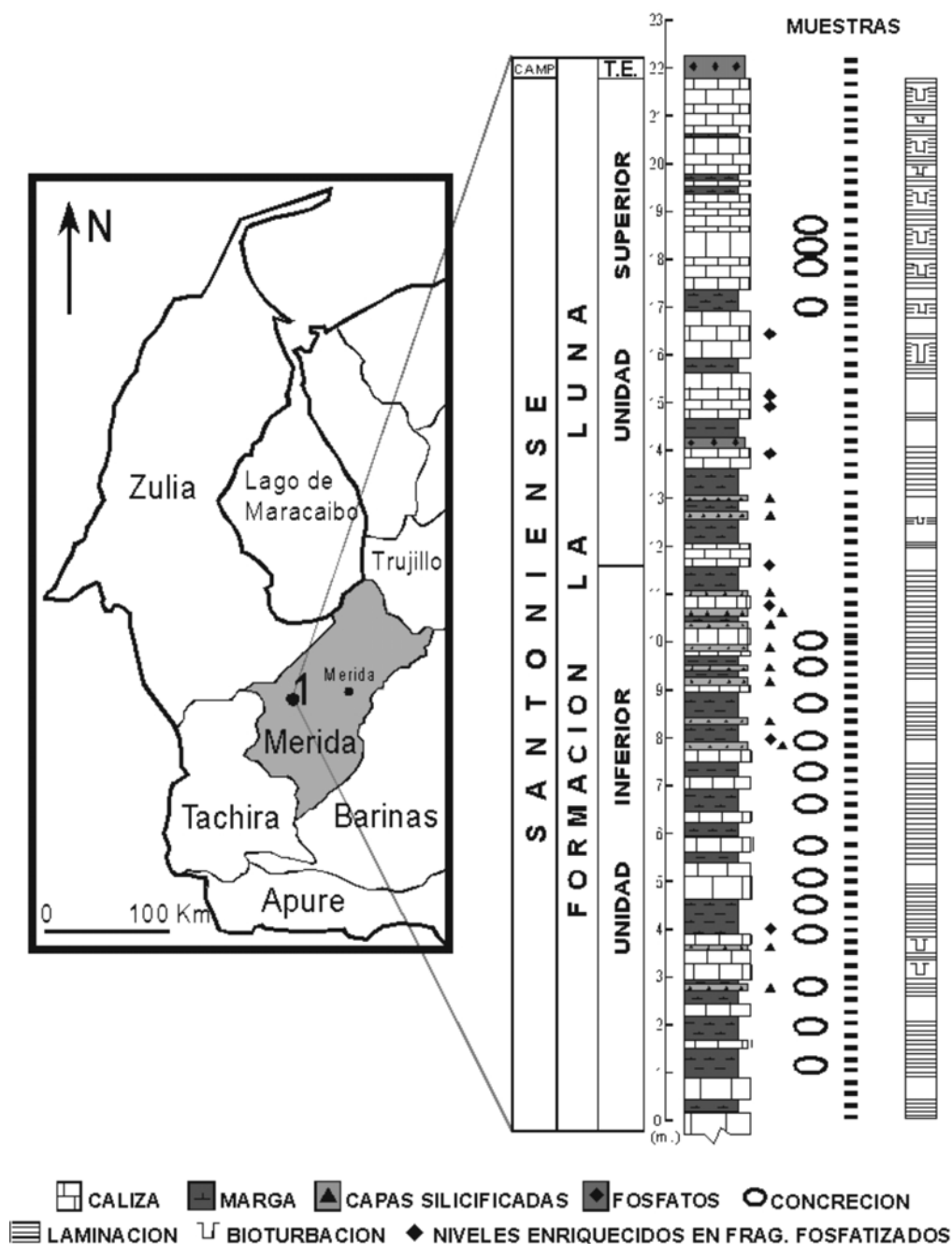


Figura 1. Ubicación relativa de la zona de estudio. A la derecha se muestra la columna estratigráfica de la Formación La Luna en el río San Miguel, estado Mérida, y la ubicación de las muestras recolectadas. T.E. Miembro Tres Esquinas.

METODOLOGÍA

La Formación La Luna en el área de estudio aflora de forma continua y se encuentra estructuralmente poco disturbada, lo que permitió la descripción detallada de la unidad y el muestreo a intervalos de 25 cm para un total de 88 muestras recolectadas.

El estudio bioestratigráfico se concentró en el reconocimiento a nivel petrográfico de los diferentes grupos de foraminíferos pláncnicos y béticos y sus proporciones relativas. En aquellas muestras que lo permitieron se realizaron conteos de 100 a 150 especímenes, comparando los resultados con los estimados visuales. El esquema zonal utilizado corresponde al presentado por Sliter (1997) y la clasificación paleoecológica empleada fue la de Koutsoukos y Hart (1990).

RESULTADOS

El conjunto faunal está principalmente representado por foraminíferos, adicionalmente se observaron fragmentos de peces y de moluscos (inocerámidos) en proporciones bajas. El grado de preservación de los foraminíferos es de regular a muy bueno, por lo general las cámaras se observan rellenas de cemento de calcita y en menor proporción por materia orgánica y arcillas. En ocasiones, los foraminíferos pueden observarse fosfatizados. En los niveles silicificados, los fósiles en su mayoría están totalmente reemplazados por sílice siendo muy difícil su identificación taxonómica, aparentemente están representados por foraminíferos pláncnicos y radiolarios (Furrer, comunicación personal).

Foraminíferos pláncnicos

En general, el conjunto de pláncnicos está caracterizado por una baja diversidad, dominado por ejemplares oportunistas pertenecientes a los géneros *Heterohelix* (*reussi*, *moremani*, *globulosa*), *Hedbergella* (*delrioensis*, *planispira*, *flandrini*), y *Globigerinelloides* (*ultramicros*, *bolli*, *messinae*, *subcarinatus*). Otros grupos representados en proporciones menores son los géneros intermedios *Whiteinella* (*baltica*) y *Dicarinella* (*primitiva*, *concovata*, *asymetrica*), y el género especialista *Marginotruncana* (*marginata*).

Los foraminíferos pláncnicos son más comunes en la unidad inferior (figura 2), comprenden en promedio un 80% del total de foraminíferos y están representados en orden decreciente de abundancia por ejemplares oportunistas, intermedios y especialistas. En la unidad superior disminuye el contenido de foraminíferos pláncnicos (promedio 25% del total de foraminíferos) (figura 2), los mismos están representados por formas oportunistas con la excepción de escasos

marginotruncánidos. En la figura 3 se muestra la distribución estratigráfica de las especies de foraminíferos pláncnicos identificadas en este trabajo.

La calibración bioestratigráfica de esta sección presenta limitaciones debido a que el tipo de fauna índice «carinada» se encuentra ausente o es muy escasa en ciertos niveles, por lo que sus primeras y últimas ocurrencias no necesariamente están asociadas con las primeras y últimas apariciones.

La primera ocurrencia de la *Dicarinella asymetrica* a 0,50 m de la base de la sección estudiada, permite proponer en este nivel la base de la zona con el mismo nombre de edad Santoniense (Sliter, 1997; Premoli-Silva y Sliter, 1999). Especies tales como la *Dicarinella primitiva*, *Whiteinella baltica*, *Heterohelix moremani* y *Hedbergella delrioensis*, desaparecen en la base de la Zona *Dicarinella asymetrica* (Sliter, 1997), sin embargo, se observan en la unidad inferior.

El intervalo superior de la Formación La Luna está caracterizado por una disminución en los foraminíferos pláncnicos, principalmente representados por géneros oportunistas con rangos estratigráficos amplios (*Hedbergella planispira*, *Globigerinelloides ultramicros*, *Globigerinelloides bolli*, *Globigerinelloides subcarinatus* y *Heterohelix globulosa*). Machado y Rey (2004) estudiaron el nannoplancton calcáreo en esta localidad, ellos reportaron la última ocurrencia de la especie *Lithastrinus floralis* a 2,13 m por debajo de la base del Miembro Tres Esquinas, esta especie desaparece a finales del Santoniense (Cruz, 1994). El límite Santoniense-Campaniense se coloca en la base del Miembro Tres Esquinas de acuerdo con lo propuesto por De Romero y Galea-Álvarez (1995) para esta región.

Foraminíferos béticos

La identificación de los foraminíferos béticos sólo fue posible realizarla hasta el nivel de género. Este grupo muestra una tendencia inversa a la descrita para los foraminíferos pláncnicos, en la unidad inferior están ausentes o en un número muy bajo de ejemplares, incrementándose en la unidad superior (figura 2).

De acuerdo con la clasificación de Koutsoukos y Hart (1990), se identificaron dos grupos: a) grupo de epifaunales a infaunales someros, representados por los géneros *Gavelinella*, *Lenticulina* y nodosáridos, y b) grupo de infaunales, definidos por los géneros *Siphogenerinoides*, *Orthokarstenia*, *Bolivinooides*, y porcentajes muy bajos de bolivínidos (*Bolivina* y *Gabonita*). El grupo de béticos epifaunales a infaunales someros domina en la unidad

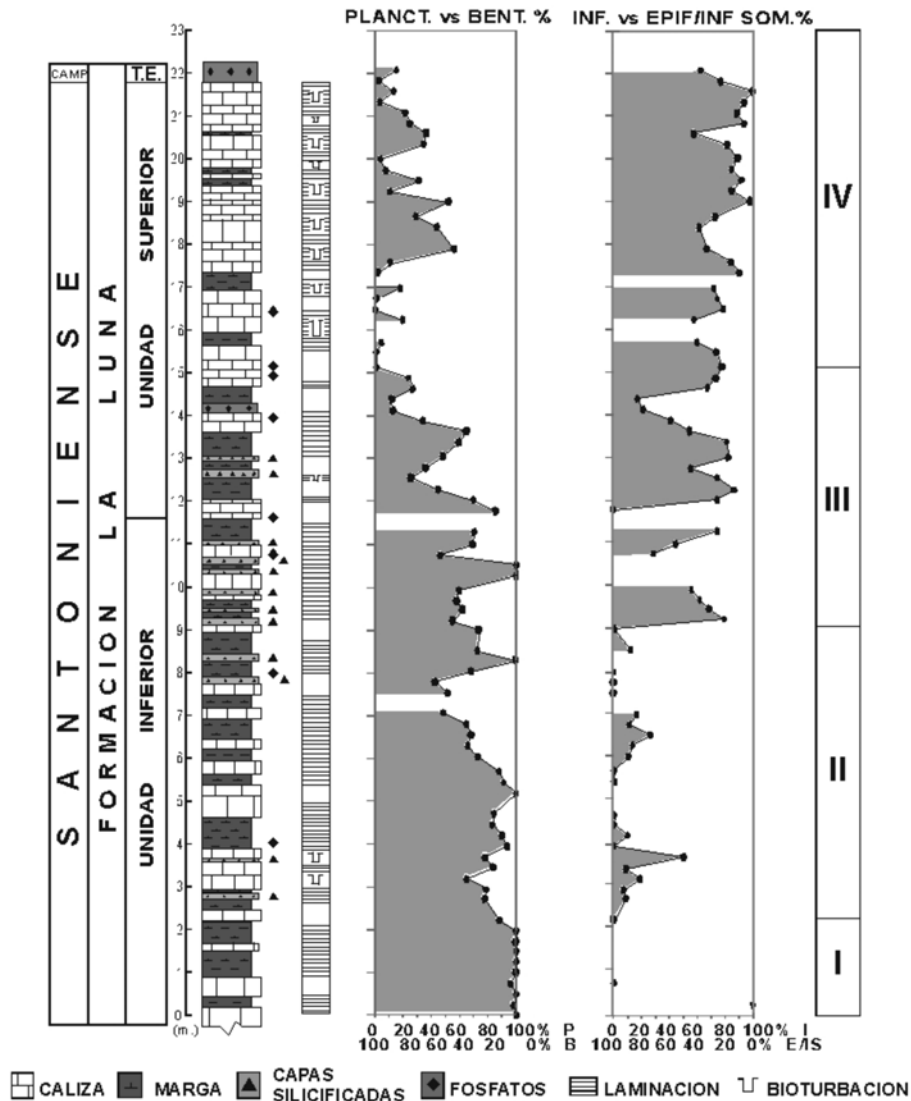


Figura 2. Relación de foraminíferos pláncicos/bénticos (P/B) y proporciones entre los diferentes grupos de foraminíferos bénticos (infaunales I, epifaunales a infaunales someros E/IS) en la Formación La Luna en el río San Miguel, estado Mérida. Las variaciones en la distribución de foraminíferos pláncicos y bénticos permiten subdividir la sección en cuatro intervalos (I, II, III y IV). T.E. Miembro Tres Esquinas.

inferior, mientras que el grupo de bénticos infaunales domina en la unidad superior (figura 2). Este cambio en la composición de bénticos está acompañado con la presencia de niveles bioturbados. En la figura 4 se muestra la distribución de los géneros de foraminíferos bénticos identificados en este trabajo.

La asociación de foraminíferos bénticos indica un ambiente de sedimentación en la zona nerítico superior a batial superior de acuerdo con el esquema presentado por Koutsoukos y Hart (1990).

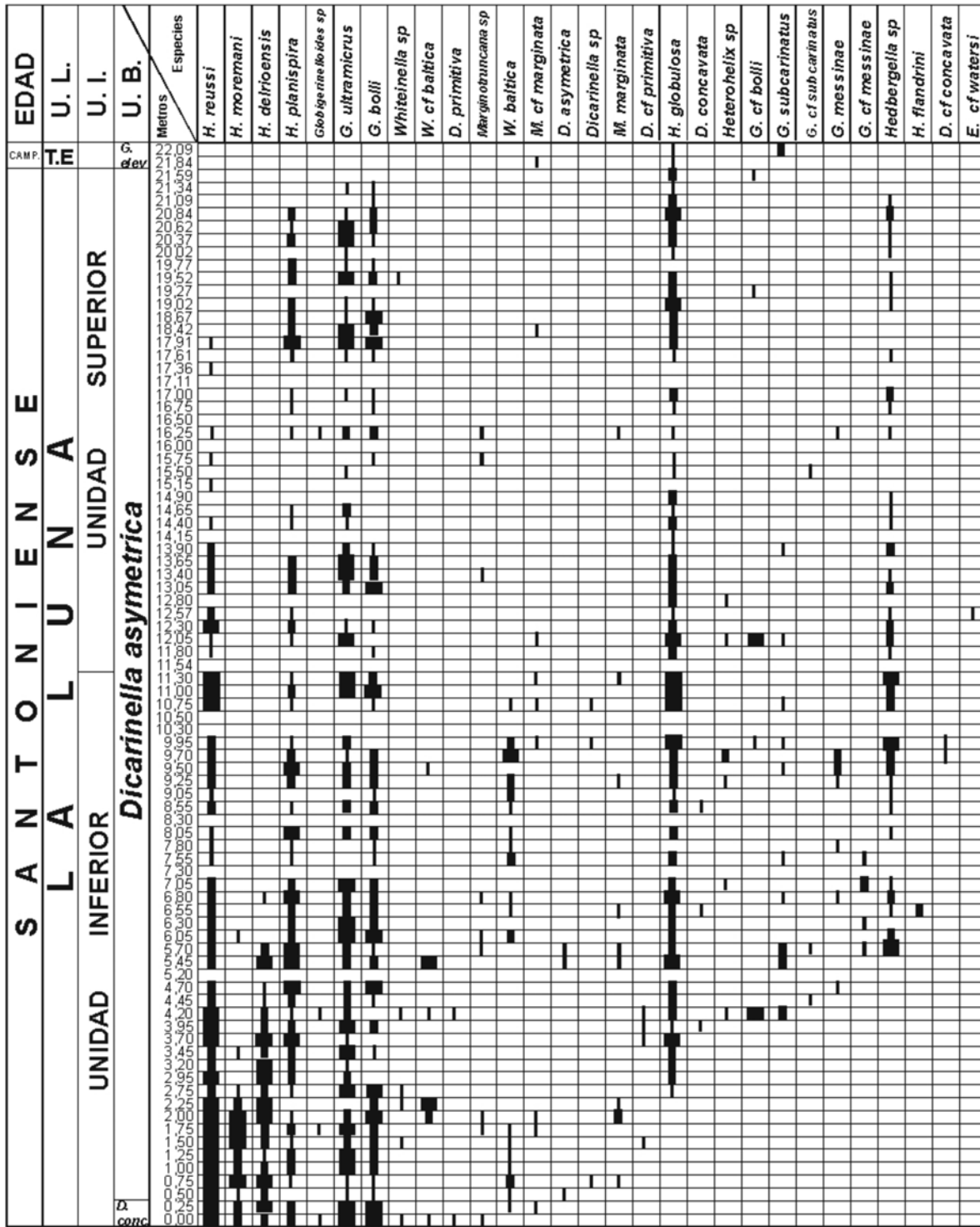
Distribución de foraminíferos pláncicos y bénticos

Las variaciones observadas en la distribución de los

foraminíferos pláncicos y bénticos permiten subdividir la sección estudiada en cuatro intervalos, los cuales se describen a continuación (figura 2; tabla 1).

Intervalo I (0 a 2,25 m):

El conjunto de foraminíferos está representado por formas pláncicas (99%), los bénticos están ausentes con la excepción de dos muestras, en donde se observó escasa ocurrencia de los géneros *Orthokarstenia*, *Gavelinella* y *Lenticulina* (figura 4). En el grupo de los foraminíferos pláncicos dominan los géneros *Hedbergella*, *Heterohelix* y *Globigerinelloides*, en menor proporción se observan representantes de los géneros *Whiteinella*, *Dicarinella* y *Marginotruncana* (figura 3).



| menos 5 | 5 a 15 | mas de 15 ejemplares

Figura 3. Distribución estratigráfica y variaciones en abundancia de las especies de foraminíferos plácticos identificados en la Formación La Luna en la sección del río San Miguel, estado Mérida. U.L Unidad litoestratigráfica, U.I unidades informales, U.B. unidades bioestratigráficas, T.E. Miembro Tres Esquinas.

Intervalo II (2,25 a 9,25 m):

El conjunto de foraminíferos está representado

mayoritariamente por formas plácticas (77%), en menor proporción se observan foraminíferos bénticos (23%). La asociación de foraminíferos plácticos presenta las mismas

características descritas para el intervalo I (figura 3). En el grupo de foraminíferos béticos dominan los géneros epifaunales a infaunales someros (*Lenticulina*, nodosáridos y en menor proporción *Gavelinella*), con esporádicas ocurrencias de formas infaunales (*Orthokarstenia*, *Siphogenerinoides*, *Bolivina*, *Gabonita*)(figura 4).

Intervalo III (9,25 a 15,15 m):

Este intervalo está caracterizado por un incremento significativo en el contenido de foraminíferos béticos (47%). En el grupo de los foraminíferos pláncicos siguen dominando los géneros oportunistas, hacia el tope del intervalo (base de la unidad superior) desaparecen los géneros *Whiteinella* y *Dicarinella*, observándose escasas ocurrencias de marginotruncánidos (figura 3). En el conjunto de foraminíferos béticos se observa un incremento en el grupo de los foraminíferos infaunales, dominado por representantes del género *Orthokarstenia*, seguido por los géneros *Siphogenerinoides*, *Bolivina* y *Gabonita* (figura 4). El grupo de béticos epifaunales a infaunales someros está representado por ejemplares de *Lenticulina*, nodosáridos y en menor proporción *Gavelinella* (figura 4).

Intervalo IV (15,15 a 22,09 m):

El conjunto de foraminíferos está mayoritariamente representado por béticos (82%), disminuyendo significativamente los foraminíferos pláncicos (18%), estos últimos dominados por géneros oportunistas con escasas ocurrencias de *Marginotruncana* (figura 3). En el grupo de foraminíferos béticos dominan los géneros infaunales, representados principalmente por *Orthokarstenia* y *Bolivinooides*, disminuyendo significativamente los béticos epifaunales a infaunales someros (figura 4). En este intervalo es común observar la presencia de intervalos bioturbados.

DISCUSIÓN

El evento anóxico EAO3 representa la última ocurrencia de depositación de espesas secuencias con depósitos ricos en carbono orgánico, estratigráficamente comprende un intervalo de tiempo amplio (Coniaciense-Santoniese) y es probable que pueda subdividirse en eventos cortos significativos (Arthur *et al.* 1990). El evento paleogeográfico más importante durante este período fue la profundización y ampliación de la conexión entre el Atlántico Central y Sur (Coniaciense-Campaniense temprano), estableciéndose por completo el intercambio de aguas intermedias y profundas. Este evento tuvo un impacto mayor en la circulación atmosférica y en las facies sedimentarias y geoquímicas que se desarrollaron en las cuencas oceánicas adyacentes (Wagner, 2002).

El Santoniese representa la interacción entre dos tipos de océano (ecotono): a) el océano «greenhouse» caracterizado por sedimentos variables representados por carbonatos multicoloreados típicos de los ciclos redox, chert y lutitas negras, en donde las bioprovincias están débilmente definidas y b) el océano «moderno» dominado por carbonatos más uniformes con bioprovincias bien definidas (Premoli-Silva y Sliter, 1999). Durante este intervalo de tiempo se produjeron grandes cambios que afectaron a todos los grupos tróficos, tanto nuevas apariciones como extinciones caracterizaron este intervalo, sin embargo la aparición de nuevos géneros y especies superó al número de extinciones. Esta combinación inusual de primeras apariciones y extinciones en todos los grupos tróficos indica cambios en toda la columna de agua y soportan la interpretación de una circulación de aguas profundas alteradas (Premoli-Silva y Sliter, 1999). Particularmente en el grupo de foraminíferos pláncicos, este intervalo representa la transición entre formas especialistas dominadas por marginotruncánidos a formas dominadas por globotruncánidos y globotruncánidos (Wonder, 1980; cit. en Premoli-Silva y Sliter, 1999).

El estudio de la Formación La Luna en la sección del río San Miguel, aporta información sobre los cambios en el grupo de los foraminíferos a finales del evento anóxico EAO3 en el margen noroccidental de Venezuela. La distribución de foraminíferos pláncicos y béticos permitió la subdivisión de la sección en cuatro intervalos que dan indicios de las condiciones que prevalecieron tanto en las aguas de fondo como en la columna de agua (tabla 1).

Hacia la base de la unidad (intervalo I), los foraminíferos béticos están ausentes o se observan en un número muy bajo de individuos (1%), el contenido de COT promedio es de 3,65% y la relación vanadio/níquel promedio es de 0,72, indicando una columna de agua fuertemente estratificada con aguas de fondo anóxicas (Hatch y Leventhal, 1992). Subiendo en la sección (intervalo II), se observa un incremento en el contenido de foraminíferos béticos (23%) representados principalmente por formas epifaunales a infaunales someras, los valores promedio en el COT (3,26%) y en la relación vanadio/níquel (0,74) continúan siendo elevados, sin embargo la aparición de foraminíferos béticos en algunos niveles indica variaciones en el grado de estratificación de la columna de agua con aguas de fondo anóxicas-disóxicas. De acuerdo con diversos autores, la estratificación de la columna de agua durante la sedimentación de la Formación La Luna pudo ser promovida por la existencia de barreras que restringieron la circulación oceánica (Macellari y De Vries, 1987; Lugo y Mann, 1995; Erlich *et al.* 1999a, 1999b, 2000).

Con relación al grupo de foraminíferos plácticos en los intervalos I y II, el mismo está caracterizado por una baja diversidad y está representado mayoritariamente por géneros oportunistas (*Heterohelix*, *Hedbergella* y *Globigerinelloides*). Los géneros intermedios y especialistas (*Whiteinella*, *Dicarinella* y *Marginotruncana*), están representados en muy bajos porcentajes.

Un cambio importante se observa en el conjunto de foraminíferos en los intervalos III y IV, caracterizado por un incremento en el número de béticos representados principalmente por formas infaunales, este cambio está acompañado por la presencia de niveles bioturbados y una disminución en los valores promedios de COT y de la relación vanadio/níquel (tabla 1), que indican una columna de agua débilmente estratificada con condiciones de fondo disóxicas y ocurrencia de períodos de mayor oxigenación. El contenido de foraminíferos plácticos disminuye considerablemente, hacia el tope del intervalo III desaparecen los géneros *Whiteinella* y *Dicarinella* (tope de la unidad inferior), la asociación de plácticos queda conformada casi exclusivamente por géneros típicos de aguas superficiales (*Hedbergella*, *Heterohelix* y *Globigerinelloides*), con la excepción de escasos marginotruncánidos.

De acuerdo con lo indicado en los párrafos anteriores, el patrón de distribución de los foraminíferos béticos y su correlación con los valores en el COT y en la relación vanadio-níquel reportados por Rey *et al.* (2004), sugieren que la tendencia general en la acumulación de carbono orgánico en esta área durante el Santoniense estuvo principalmente controlada por variaciones en el contenido de oxígeno en las aguas de fondo, los mismos han sido clasificados como oportunistas típicos de zonas con bajo contenido de oxígeno (Koutsoukos y Hart, 1990; De Romero y Galea-Alvarez, 1995; Erlich *et al.* 1999a, 2000). Por otro lado, evidencias de surgencia y paleoproduktividad pueden interpretarse por la baja diversidad que se observa en el conjunto de foraminíferos plácticos, representados mayoritariamente por géneros oportunistas (Premoli-Silva y Sliter, 1999), la presencia de numerosos niveles silíceos y las concentraciones elevadas de restos de peces e intraclastos fosfatizados (superior al 40%), los cuales son comunes en la parte superior de la unidad inferior y base de la unidad superior. Diversos autores han indicado la existencia de fuerte surgencia y paleoproduktividad durante el Turoniense tardío al Campaniense en el norte del Suramérica que pudiera ser responsable de la acumulación de depósitos ricos en carbono orgánico (Macellari y De Vries, 1987; Tribouvillard *et al.* 1991; Perez-Infante *et al.* 1996; Vergara, 1997; Villamil, 1998; Crespo de Cabrera *et al.* 1999;

Davis *et al.*, 1999; Villamil *et al.* 1999; Ruiz *et al.* 2000). Sin embargo, Rey *et al.* (2004) no observaron una correlación entre el COT y los elementos indicativos de paleoproduktividad (Ba, Si y P) en esta sección.

El cambio en el conjunto de foraminíferos plácticos hacia el tope del intervalo III y en el intervalo IV, podría interpretarse como el resultado de una disminución en la profundidad de la columna de agua. En términos de estratificación vertical, diversos autores han sugerido que los géneros con quilla representan las formas más profundas (Leckie, 1987; Premoli-Silva y Sliter, 1999; y referencias allí citadas). Machado y Rey (2004) estudiaron la distribución de nannoplácton calcáreo en esta sección, reportando una disminución en el número de especies en la unidad superior que soporta esta teoría. Sin embargo, no se descarta la influencia de cambios en el clima global durante la sedimentación de este intervalo. Aunque la relación de foraminíferos plácticos oportunistas vs especialistas ha sido utilizada en la interpretación del contenido de nutrientes en la columna de agua, estabilidad de la columna de agua, condiciones de surgencia y profundidad en la columna de agua (Premoli-Silva y Sliter, 1999), también se ha empleado en reconstrucciones paleoclimáticas. Los géneros oportunistas son cosmopolitas y están ampliamente distribuidos, siendo abundantes en las latitudes elevadas, por lo que se han clasificado como géneros de climas fríos; por otro lado, los géneros especialistas son abundantes en las latitudes bajas en donde habitan (en nichos oligotróficos), por lo que se han interpretado como representantes de climas cálidos (Petruzzo, 2002).

El registro climático del Cretáceo Tardío construido en base a datos de isótopos de oxígeno presenta discrepancias en las tendencias de paleotemperatura (Norris *et al.* 2002). Diversos autores han observado una tendencia de enfriamiento en el clima global a partir del Campaniense temprano hasta el Maastrichtiense (Huber *et al.* 1995; Barrera *et al.* 1997). Sin embargo, datos de $\delta^{18}\text{O}$ en carbonatos provenientes de localidades del DSDP en el océano Índico, sugieren que la declinación en la temperatura ocurrió durante el Turoniense tardío (Clarke y Jenkyns, 1999). Petruzzo (2002) interpretó un corto evento de enfriamiento a finales del Santoniense, que dio como resultado la extinción de los marginotruncánidos. Más recientemente, Pucéat *et al.* (2003) publicaron los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en dientes de peces fosfatizados provenientes de depósitos de plataforma del Tetis occidental (30°- 35°N), reportando una disminución en la temperatura del océano superior post-Turoniense.

Las variaciones observadas en el grupo de foraminíferos representadas por: cambios en la composición de foraminíferos plácticos e incremento del contenido de foraminíferos béticos principalmente representados por

Tabla 1. Características de los intervalos propuestos en este trabajo de acuerdo con la distribución de foraminíferos pláncnicos y bénticos en la sección de la Formación La Luna que aflora en el río San Miguel. A: abundante (> 15 ejemplares), C: común (5 - 15 ejemplares), R: raro (< 5 ejemplares). (1) Tomado de Rey (2006).

INTERVALO	(% PROMEDIO) FORAMINÍFEROS PLÁNCNICOS	(% PROMEDIO) FORAMINÍFEROS BÉNTICOS	RELACIÓN) VANADIO/NÍQUEL PROMEDIO (DESV. EST.) (1)	COT% PROMEDIO (DESV. EST.) (1)	POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA
IV 15,15 a 22,09 m	18 % <i>Globigerinelloides</i> , <i>Hedbergella</i> , <i>Heterohelix</i> (A) <i>Marginotruncana</i> (R)	82% Epifaunales a Infaunales someros (21%) Infaunales (79%) Domina <i>Orthokarstenia</i> y <i>Bolivinooides</i> Presencia de niveles bioturbados	0,46 (0,19)	2,11 (0,97)	Unidad superior
III 9,25 a 15,15 m	53 % <i>Globigerinelloides</i> , <i>Hedbergella</i> , <i>Heterohelix</i> (A) <i>Dicarinella</i> y <i>Marginotruncana</i> (R), <i>Whiteinella</i> (R a A)	47% Epifaunales a Infaunales someros (48%) Infaunales (52%)	0,60 (0,20)	3,09 (1,53)	Tope de la unidad inferior y base de la unidad superior
II 2,25 a 9,25 m	77 % <i>Globigerinelloides</i> , <i>Hedbergella</i> , <i>Heterohelix</i> (A) <i>Dicarinella</i> y <i>Marginotruncana</i> (R), <i>Whiteinella</i> (R a A)	23% Epifaunales a Infaunales someros (84%) Infaunales (16%)	0,74 (0,17)	3,26 (1,54)	Unidad inferior
I 0 a 2,25 m	99 % <i>Globigerinelloides</i> , <i>Hedbergella</i> , <i>Heterohelix</i> (A) <i>Whiteinella</i> (R-C) <i>Dicarinella</i> y <i>Marginotruncana</i> (R)	1% <i>Orthokarstenia</i> , <i>Lenticulina</i> y <i>Gavelinella</i> (R)	0,72 (0,17)	3,65% (1,54%)	Unidad inferior

géneros infaunales; así como los cambios sedimentológicos reportados por Rey *et al.* (2004) en la sección estudiada que incluyen: incremento de las calizas en la unidad superior, frecuencia de niveles silíceos y niveles enriquecidos en fragmentos fosfatizados hacia el tope de la unidad inferior y base de la unidad superior indicativos de surgencia y la presencia de cuarzo detrítico (eólico) en las calizas de la unidad superior incrementando hacia el tope de la formación; así como la disminución en la relación vanadio-níquel y en el contenido de COT, permiten proponer una tendencia de enfriamiento en el clima global durante el Santiense, que promovió la intensificación de vientos fríos y secos incrementando la surgencia y una reducción en las precipitaciones que trajo como consecuencia un debilitamiento de la pycnoclina que dio como resultado la intensificación de la mezcla vertical con la consecuente desestabilización de la columna de agua, promoviendo la

producción de carbonatos y la disminución en el contenido de COT que marca el final en la acumulación de la materia orgánica hacia el tope de la Formación La Luna. No se descarta que cambios en la circulación oceánica profunda, resultado de la profundización de la conexión con el Atlántico Sur, hayan jugado un papel importante, similar a lo propuesto por Erlich (1999) en la región de Costa Rica y Wagner (2002) en el Atlántico ecuatorial.

CONCLUSIONES

El estudio de las variaciones en el grupo de foraminíferos en la sección de la Formación La Luna en la localidad del río San Miguel, aporta información sobre los cambios en el grupo de los foraminíferos a finales del evento anóxico EAO3 en el margen noroccidental de Venezuela. Las variaciones observadas en el grupo de foraminíferos en esta sección

permiten inferir sobre los factores que influyeron en la acumulación de depósitos ricos en materia orgánica durante el Santoniense en esta región.

La distribución de foraminíferos plácticos y béticos permitió la subdivisión de la sección en cuatro intervalos que dan indicios de las condiciones que prevalecieron tanto en las aguas de fondo como en la columna de agua.

El patrón de distribución de los foraminíferos béticos sugiere que la tendencia general en la acumulación de carbono orgánico durante el Santoniense estuvo principalmente controlada por variaciones en el contenido de oxígeno en las aguas de fondo y la estratificación de la columna de agua. Durante la sedimentación de la base del intervalo estudiado prevalecieron condiciones anóxicas en las aguas de fondo con una columna de agua fuertemente estratificada, subiendo en la sección se observa un cambio progresivo a condiciones disóxicas con la ocurrencia de intervalos oxigenados en las aguas de fondo y una columna de agua débilmente estratificada hacia el tope de la Formación La Luna, disminuyendo el contenido de COT.

La disminución drástica en el contenido de foraminíferos plácticos hacia el tope de la formación, los cuales están representados casi exclusivamente por géneros típicos de aguas superficiales con la excepción de escasas ocurrencias de marginotruncánidos, puede interpretarse como el resultado de la disminución en la profundidad de la columna de agua, aunque no se descarta la influencia de cambios en el clima global.

Las variaciones en la composición de los conjuntos de foraminíferos plácticos y béticos, junto con los cambios sedimentológicos observados en la sección estudiada, permiten proponer una tendencia de enfriamiento en el clima global a finales del Santoniense, que promovió la intensificación de vientos fríos y secos, incrementando la surgencia y desestabilizando la columna de agua, estas condiciones promovieron la producción de carbonatos y la disminución en el contenido de carbono orgánico total, que marcó el final en la acumulación de materia orgánica hacia el tope de la Formación La Luna. No se descarta la influencia de cambios en la circulación oceánica profunda resultado de la profundización de la conexión con el Atlántico Sur.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su agradecimiento a los doctores María Antonieta Lorente y Juan Antonio Simo por sus discusiones y recomendaciones durante el desarrollo de esta investigación, y a la MSc. Irene Truskowsky por el asesoramiento prestado durante la etapa de identificación

de los foraminíferos en secciones petrográficas. Igualmente se agradecen los comentarios de la Dra. Francia Galea, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad del presente trabajo.

REFERENCIAS

- ARTHUR, M.A.; JENKYN, H.C.; BRUMSACH, H.J AND SCHLANGER, S.O. (1990). Stratigraphy, geochemistry, and paleoceanography of organic carbon-rich Cretaceous sequences. In Ginsbur, R.N and Beudantic, B (Editors) *Cretaceous Resources, Events and Rhythms*: 75-199.
- ARTHUR, M.A.; SCHLANGER, S.O. AND JENKYN, H.C. (1987). The Cenomanian-Turonian Oceanic Anoxic Event, II. Palaeoceanographic controls on organic-matter production and preservation. In Brooks, J. and Fleet, A.J. (Editors) *Marine Petroleum Source Rocks*. Geological Society Special Publication, N° 26: 401-420.
- BARRERA, E.; SAVIN, S. AND THOMAS, E. (1997). Evidence for thermohaline-circulation reversals controlled by sea-level change in the latest Cretaceous. *Geology*, 25(8): 715-718.
- BRALOWER, T AND THIERSTEIN, H.R. (1987). Organic carbon and metal accumulation rates in Holocene and mid-Cretaceous sediments: palaeoceanographic significance. In Brooks J. And Fleet, A.J. (Editors) *Marine Petroleum Source Rocks*, Geological Society Special Publication, N° 26: 345-369.
- CLARKE, L.J. AND JENKYN, H.C. (1999). New oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the Southern Hemisphere. *Geology*, 27(8): 699-702.
- CRESPO DE CABRERA, S.; SLITER, W.V. AND JARVIS, I. (1999). Integrated foraminiferal biostratigraphy of the Querecual Formation (Cretaceous), eastern Venezuela. *Journal of Foraminiferal Research*, 29(4): 487-499.
- CRUX, J. (1994). Cretaceous nannofossils. Short Course. Intevp.
- DAVIS, C., PRATT, L., SLITER, W., MOMPART, L. AND MURAT, B. (1999). Factors influencing organic carbon and trace metal accumulation in the Upper Cretaceous La Luna Formation of the western Maracaibo Basin, Venezuela. In: E. Barrera and C.C. Johnson (Editors), *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System*, Geological Society of America Special Paper 332: 203-230.

- DE BOER, P.L. (1982). Cyclicity and the storage of organic matter in middle Cretaceous pelagic sediments. In Einsele, G. and Seilacher, A. (Editors) *Cyclic and Event Stratification*: 72-95.
- DE ROMERO, L. AND GALEA-ALVAREZ, F. (1995). Campanian *Bolivinoidea* and microfacies from the La Luna Formation, western Venezuela. *Marine Micropaleontology*, 26: 385-404.
- ERLICH, R.N. (1999). *Depositional environments, geochemistry, and paleoceanography of Upper Cretaceous organic carbon-rich strata, Costa Rica and western Venezuela*. PD Thesis, Vrije Universiteit, 140 p.
- ERLICH, R.N., MACSOTAY, O., NEDERBRAGT, A.J. AND LORENTE, M.A. (1999A). Palaeoceanography, palaeoecology, and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153: 203-238.
- ERLICH, R.N., MACSOTAY, O., NEDERBRAGT, A.J. AND LORENTE, M.A. (1999B). Geochemical characterization of oceanographic and climatic changes recorded in upper Albian to lower Maastrichtian strata, western Venezuela. *Cretaceous Research* 20: 547-581.
- ERLICH, R.N., MACSOTAY, O., NEDERBRAGT, A.J. AND LORENTE, M.A. (2000). Birth and death of the Late Cretaceous «La Luna Sea», and origin of the Tres Esquinas phosphorites. *Journal of South American Earth Sciences* 13: 21-45.
- GALEA-ALVAREZ, F. (1989). Microfacies, edad y ambiente de sedimentación de la Formación La Luna, Flanco Norandino, Venezuela. En Spalletti, L.A. (Editor) *Contribuciones de los Simposios sobre el Cretáceo de América Latina, Parte A: Eventos y registro sedimentario*. Cent Inv. Geol. Univ., La Plata, Argentina: 57-63.
- GRACIANSKY, P.C. DE; BROSSE, E.; DEROO, G.; HERBIN, J.P.; MONTANDERT, L.; MULLER, C.; SIGAL, J. AND SCHAAF, A. (1987). Organic-rich sediments and palaeoenvironmental reconstructions of the Cretaceous North Atlantic. In Books, J. and Fleet, A.J. (1987) *Marine Petroleum Source Rocks*, Geological Society Special Publication, N° 26: 317-344.
- HAY, W. (1988). Paleooceanography: A review for the GSA CENTENNIAL. *Geological Society of America Bulletin*, v. 100: 1934-1956.
- HATCH, J.R. AND LEVENTHAL, J.S. (1992). Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, USA. *Chemical Geology* 99: 65-82.
- HOFMANN, P.; WAGNER, T. AND BECKMANN, B. (2003). Millennial- to centennial- scale record of African climate variability and organic carbon accumulation in the Coniacian-Santonian eastern tropical Atlantic (Ocean Drilling Program Site 959, off Ivory Coast and Ghana. *Geological Society of America*, 31(2): 135-138.
- HUBER, B.; HODELL D. AND HAMILTON, CH. (1995). Middle-Late Cretaceous climate of the southern latitudes: stable isotopic evidence for minimal equator-to-pole thermal gradients. *Geological Society of America Bulletin*, 107(10): 1164-1191.
- JENKYN, H.C. (1980). Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journal Geological Society of London*, v. 137: 171-188.
- JENKYN, H.C.; GALE, A.S. AND CORFIELD, R.M. (1994). Carbon and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance. *Geol. Mag.*, 131(1): 1-34.
- JONES, CH.E. AND JENKYN, H.C. (2001). Seawater strontium isotopes, oceanic anoxic events, and seafloor hydrothermal activity in the Jurassic and Cretaceous. *American Journal of Science*, v. 301: 112-149.
- KOUTSOUKOS, A.M. AND HART, MB. (1990). Cretaceous foraminiferal morphogroup distribution patterns, palaeocommunities and trophic structures: a case study from the Sergipe Basin, Brazil. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 81d: 221-246.
- LECKIE, R.M. (1987). Paleoecology of mid-Cretaceous planktonic foraminifera: a comparison of open ocean and epicontinental sea assemblages. *Micropaleontology*, 33(2): 164-176.
- LECKIE, R.M.; BRALOWER, T. AND CASHMAN, R. (2001). Mid-Cretaceous oceanic anoxic events and plankton evolution. Anoxia and Black Shale Deposition. 65^a Geological Society of America Annual Meeting.
- LORENTE, M.A., RULL, V., RUIZ M., DURÁN, I., TRUSKOWSKI, I. Y DI GIACOMO, E. (1997). Nuevos aportes para la datación

- de los principales eventos tectónicos y unidades litoestratigráficas de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela Occidental. República de Venezuela. *Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de Minas y Geología*, XVIII (31): 33-50.
- LUGO, J. AND MANN, P. (1995). Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. In: A.J. Tankard, R. Suárez and H.J. Welsink (Editors) *Petroleum basins of South America*. AAPG Memoir 62: 699-725.
- MACELLARI C.E. AND DE VRIES, T.J. (1987). Late Cretaceous upwelling and anoxic sedimentation in northwestern South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 59: 279-292.
- MACHADO, A. Y REY, O. (2004). Estudio comparativo entre las variaciones en el carbonato de calcio y la distribución del nannoplancton calcáreo en la Formación La Luna, sección del río San Miguel, estado Mérida. *Revista de la Facultad de Ingeniería (UCV, Caracas)*, 19(2): 13-24.
- NORRIS, R.D.; KROON, D.; HUBER, B. AND ERBACHER, J. (2002). Cretaceous-Paleogene ocean and climate change in the subtropical North Atlantic. In Kroon, D.; Norris, R.D. and Klaus, A. (Editors) *Proceedings of the Ocean Drilling Program*. Scientific Results, v. 171B: 1-22.
- PARNAUD, F., GOU, Y., PASCUAL, J.C., CAPELLO, M.A., TRUSKOWSKI, I. AND PASSALACQUA, H. (1995). Stratigraphic synthesis of Western Venezuela. In: J. Tankard, R. Suárez and H.J. Welsink (Editors) *Petroleum basins of South America*, AAPG Memoir 62: 681-698.
- PARRISH, J.T. (1995). Paleogeography of C_{org}-rich rocks and the preservation versus production controversy. In A.Y. Huc (Editor) *Paleogeography, paleoclimate and source rocks*. AAPG Studies in Geology N° 4: 1-20.
- PÉREZ-INFANTE J., FARRIMOND P. AND FURRER M. (1996). Global and local controls influencing the deposition of the La Luna Formation (Cenomanian-Campanian), western Venezuela. *Chemical Geology*, v. 130: 271 – 288.
- PETRIZZO, M.R. (2002). Palaeoceanographic and palaeoclimatic inferences from Late Cretaceous planktonic foraminiferal assemblages from the Exmouth Plateau (ODP Sites 762 and 763), eastern Indian Ocean. *Marine Micropaleontology*, 45: 117-150.
- POULSEN, C.J.; BARRON, E.J.; ARTHUR, M.A. AND PETERSON, W.H. (2001). Response of the mid-Cretaceous global oceanic circulation to tectonic and CO₂ forcings. *Paleoceanography*, v. 16: 1-17.
- PREMOLI-SILVA, I.; ERBA, E.; SALVINI, G.; LOCATELLI, C. AND VERGA, D. (1999). Biotic changes in cretaceous oceanic anoxic events of the Thetys. *Journal of Foraminiferal Research*, 29(4): 352-370.
- PREMOLI SILVA, I. AND SLITER, W.V. (1999). Cretaceous paleoceanography: Evidence from planktonic foraminiferal evolution. In: E. Barrera and C.C. Johnson (Editors) *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System*, Geological Society of America Special Paper 332: 301-328.
- PUCÉAT, E.; LÉCUYER, CH.; SHEPPARD, S.; DROMART, G.; REBOULET S. AND GRANDJEAN, P. (2003). Thermal evolution of Cretaceous Tethyan marine waters inferred from oxygen isotope composition of fish tooth enamels. *Paleoceanography*, 18(2): 7-1 to 7-12.
- REY, O. (2006). Cicloestratigrafía del EAO3: Controles climáticos y cíclicos sobre la sedimentación del Santoniense, río San Miguel, estado Mérida. Trabajo de Grado. Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 189 p.
- REY, O.; SIMO, J.A. AND LORENTE, M.A. (2004). A record of Long- and Short-term Environmental and Climatic change during OAE3: La Luna Formation, Late Cretaceous (Santonian-early Campanian), Venezuela. *Sedimentary Geology*, 170(1-2): 85-105.
- RUIZ, M; LORENTE, M.A.; DURÁN, I AND FASOLA, A. (2000). Late Cretaceous Upwelling in the Southwest of the Thetys Sea, a Case History From the Barinas Basin, Venezuela. SEPM Research Conference. Paleogeography and Hydrocarbon Potential of La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Systems.
- SCHLANGER, S.O. AND JENKYN, H.C. (1976). Cretaceous anoxic events: causes and consequences. *Geol. en Mijnbouw*, 55: 179-184.
- SLITER, W.V. (1997). Cretaceous planktic foraminifers examined in thin section. U.S. Geological Survey Menlo Park, California, USA, Short Course Notes, 62 p.
- TRIBOVILLARD, N.P.; STÉPHAN, J.F.; MANIVIT, H; REYRE, Y.; COTILLON, P. AND JAUTÉE, E. (1991). Cretaceous black shales of Venezuela Andes: preliminary results on stratigraphy and paleoenvironmental interpretations.

- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 81:313-321.
- TRUSKOWSKI I., GALEA-ALVAREZ F AND SLITER W. (1998). The oceanic events of the La Luna Formation, western Venezuela. *Geological Society of America*, 30; 7, pages 54.
- VAN BUCHEM, F.S.P.; DE BOER, P.L.; MCCAVE, I.N. AND HERBIN, J.P. (1995). The organic carbon distribution in Mesozoic marine sediments and the influence of orbital climatic cycles (England and the Western North Atlantic). In Huc, A.Y. (Editor) *Paleogeography, paleoclimate and source rocks*. AAPG Studies in Geology, N° 40: 303-335.
- VERGARA, L. (1997). Cretaceous black shales in the Upper Magdalena Valley, Colombia. New organic geochemical results (Part II). *Journal of South American Earth Sciences*, 10(2): 133-145.
- VILLAMIL, T. (1998). Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for basinal Cretaceous facies of Colombia. In: J.L. Pindell and Ch. Drake (Editors) *Paleogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America*, SEPM Special Publication N. 58: 161-216.
- VILLAMIL T. AND PINDELL J. (1998). Mesozoic paleogeographic evolution of northern South America: Foundations for sequence stratigraphic studies in passive margin strata deposited during non-glacial times, in Pindell J.L. & Drake Ch. (Editors) *Paleogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America*, SEPM Special Publication N. 58: 283-318.
- VILLAMIL, T., ARANGO, C. AND HAY, W. (1999). Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous source rocks and cherts of northern South America. In: E. Barrera and C.C. Johnson (Editors) *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System*, Geological Society of America Special Paper 332: 191-201.
- WAGNER, T. (2002). Late Cretaceous to early Quaternary organic sedimentation in the eastern Equatorial Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 179: 113-147.
- WAGNER, T.; HOFMANN, P.; BECKMANN, B.; PLETSCH, T.; WAND, U. AND WEHNER, H. (2001). Orbital forcing of Tropical Atlantic Black Shale Formation: High resolution records of the Coniacian-Santonian OAE3 (ODP Site 959, Ivory Coast/Ghana). Rapid changes in Mesozoic Palaeoceanography: micropalaeontological, sedimentological and geochemical proxies. Symposium EVO5. Disponible en: [http:// www. compublic.co.uk/ EUGXI/EVO5.pdf](http://www.compublic.co.uk/EUGXI/EVO5.pdf).
- WILSON, P.A. AND NORRIS, R.D. (2001). Warm tropical ocean surface and global anoxia during the mid-Cretaceous period. *Nature*, v. 412: 425-429.