

CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA, TAFONOMÍA Y ECOLOGÍA DE *Orthokarstenia ewaldi* (FORAMINIFERIDA: SIPHOGENERINOIDIDAE) DE LA FORMACIÓN LOS PINOS (CRETÁCICO: MAASTRICHTIANO) DE SAMACÁ (BOYACÁ, COLOMBIA)

Luis Enrique Cruz Guevara¹; Javier H. Jerez Jaimes¹; Humberto L. Amaya¹; Jorge E. Rueda Fonseca¹;
Juan David Badillo Requena¹; Jaiber L. Villamizar Cáceres¹.

RESUMEN

El género *Orthokarstenia* se considera un microfósil guía para las edades del periodo Cretácico. La especie característica de la Formación Los Pinos correspondiente al Periodo Cretácico y la edad Maastrichtiana se ajusta a la descripción morfológica de *Orthokarstenia ewaldi*. De la matriz silíceo se extrajeron varios especímenes y se maceraron para realizar pruebas de Espectroscopía de Infrarrojos por la transformada de Fourier (FTIR) utilizando como base KBr. Se colectaron especímenes de tres niveles de una roca. Se tomaron imágenes tridimensionales con un video-microscopio para detallar la forma y organización de los minerales. Un fragmento de la roca se utilizó para llevar a cabo pruebas con Espectroscopía de plasma inducida por laser (LIBS) y determinar la presencia de los elementos Ca, Fe y Mg. También se elaboraron y describieron secciones delgadas. Los espectros de FTIR de los foraminíferos fueron similares en los tres niveles donde se tomaron las muestras aunque presentaron diferencias con el espectro de la matriz de sílice. Los análisis de LIBS confirmaron la presencia de Ca y de Fe en las muestras. En las secciones delgadas se pudo determinar que el relleno de las conchas, está constituido por sílice amorfo apreciándose además una débil traza de la concha original como un sedimento fino. Las trazas de Ca encontradas confirman el reemplazo de aragonito a calcita magnesiana y finalmente a sílice. Utilizando el método de la relación entre la varianza y la media en tres tamaños de cuadrantes se determinó la dispersión de los especímenes. Los valores obtenidos indicaron una distribución de tipo agrupado. Este tipo de distribución es un indicativo de las condiciones de recursos en el hábitat, del modo de reproducción y dispersión. Se puede inferir que el sistema reproductivo dominante de *O. ewaldi* fue el asexual predominando las formas megalosféricas.

Palabras clave: Bentónico, Cretácico superior, Foraminífera, FTIR, LIBS.

PHYSICO CHEMICAL CHARACTERIZATION, TAPHONOMY AND ECOLOGY OF *Orthokarstenia ewaldi* (FORAMINIFERA: SIPHOGENERINOIDIDAE) LOS PINOS FORMATION (CRETACEOUS: MAASTRICHTIAN) FROM SAMACÁ (BOYACÁ, COLOMBIA)

ABSTRACT

The *Orthokarstenia* genus is considered a microfossil guide to the ages of the Cretaceous period. The characteristic species of Los Pinos Formation corresponding to Cretaceous Period and Maastrichtian age and fits to the morphological description of *Orthokarstenia ewaldi* species. From the siliceous matrix several specimens were taken and macerated for Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) testing with KBr base. Specimens were collected from three levels of a rock. Three-dimensional images were taken with a video-microscopes to detail the form and structure of minerals. A fragment of rock was used to perform Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) tests and to establish the presence of the elements Ca, Fe and Mg. Thin sections were also made and described. FTIR spectra of foraminifera were similar in the three levels where the samples were taken but showed differences with the spectrum of the silica matrix. LIBS analysis confirmed the presence of Ca and Fe in the samples. In thin sections, amorphous silica filling the shell was observed, and also a faint

¹ Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. lecruz@uis.edu.co, javjerez@gmail.com

trace of the original shell as a fine sediment. Traces of Ca found with LIBS analysis confirm the replacement of aragonite to magnesian calcite and finally to silica. Using the relationship between the variance and the mean of three sizes of squares was determined the dispersion of the specimens. The values obtained indicated a clustered distribution type. This type of distribution is indicative of the conditions of resources in the habitat, reproduction and dispersal mode. It is possible to infer that the dominant reproductive system of *O. ewaldi* was megalospheric, being the asexual forms more common.

Keywords: Benthic, Foraminifera, FTIR, LIBS, Upper Cretaceous.

INTRODUCCIÓN

El género *Orthokarstenia* se considera un microfósil guía para las edades del periodo Cretácico. Ogg and Ogg (2008) en la actualización de la escala geológica del cretácico tardío muestran a *Orthokarstenia white* como una de las especies boreales que demarca el final del Turoniano y el inicio del Coniaciano, así como el inicio del Campaniano. *Orthokarstenia* es un género de foraminífero bentónico infaunal, para Rey (2007) y Koutsoukos and Hart, (1990) la asociación de foraminíferos bentónicos indica un ambiente de sedimentación en la zona nerítico superior a batial superior.

La descripción del género se estableció con la especie tipo *Orthokarstenia ewaldi* Karsten 1858 de la siguiente manera “testa estrecha, elongada, agrandándose gradualmente a partir de una base redondeada, generación microesférica con un estado triserial inicial, seguido por un estado biserial corto, la generación megalosférica con proloculo seguido inmediatamente por un estado biserial, ambas generaciones con cámaras subcilíndricas y un poco infladas en el adulto uniserial, cámaras inferiores con margen crenulado, suturas características, deprimidas, solapadas por la crenulación de las cámaras; paredes calcáreas, finamente perforadas, superficie lisa o con finas estrías longitudinales o con costa baja; abertura terminal, elíptica a reniforme con cuello corto y labio característico provista de una placa dentaria interna (toothplate) que se extiende hasta el foramen, las cámaras sucesivas cambian de orientación de 120° a 180°, el pico (spout) puede terminar en un pequeño orificio adyacente al lado cóncavo de la abertura pero no conectada a ésta” (Loeblich and Tappan, 1988).

El género *Orthokarstenia* se ha reportado en el Cretácico superior (Turoniano a Maastrichtiano) en América del Norte, Sur América y África (Loeblich and Tappan, 1988). Particularmente en la parte NW de Sur América se ha reportado en la Formación La Luna del Campaniano (Parra *et al*, 2003) y el Santoniano

de Venezuela (Rey, 2007), se ha encontrado asociado con otros foraminíferos bentónicos como *Bolivinoides*, *Lenticulina* y *Praebulimina*, además de ichnofósiles como *Thalassionoides* y *Planolites* (Parra *et al*, 2003), ha sido característico de ambientes con niveles de oxígeno elevados. En esta formación los especímenes del Campaniano presentaron materiales de las conchas altamente recristalizados con las cámaras llenas de esparita. La sílice (quarzo o calcedonia) está presente como anillos alrededor de las testas de los foraminíferos o dentro de las cámaras. Estos minerales fueron producidos por la disolución de elementos esqueléticos silíceos de radiolarios. El espacio resultante de esta disolución fue rellenado por esparita equigranular (Parra *et al*, 2003).

Orthokarstenia ewaldi es un foraminífero bentónico infaunal común en la Formación Los Pinos en el área de Samacá y de la Formación Plaeners Inferior en la sección del alto de Tausa (Martínez, 1995), debido a que no hay una caracterización formal de esta especie en Colombia se planteó como objetivo en esta investigación determinar las características físico químicas así como una aproximación a la tafonomía y ecología de esta especie.

MARCO GEOLÓGICO

Formación Plaeners (Kpl)

Edad: Campaniano – Maastrichtiano (Pérez y Salazar, 1978).

La Formación Plaeners hace parte del Grupo Guadalupe, unidad ampliamente distribuida en el Altiplano Cundiboyacense, en el área esta unidad es predominantemente de liditas silíceas en capas delgadas a medias intensamente fracturadas, con niveles ricos en fosforitas con foraminíferos (sifogenerinoides), escamas y restos de peces. Generalmente los afloramientos aparecen cizallados y con pliegues en chevron. La unidad no es correlacionable con la

Formación Plaeners de la Sabana de Bogotá, sino con niveles correspondientes a cambios faciales de la Formación Arenisca Dura (Velandia, 2003). Renzoni (1981) reporta un espesor aproximado de 100 m en columna estratigráfica levantada en el extremo SE de la Plancha 171-Duitama y un ambiente de sedimentación de plataforma, con poca influencia clástica grueso-granular (Velandia, 2003).

Formación Los Pinos (Klp)

Edad: Está comprendida entre el Campaniano y el Maastrichtiano Inferior de acuerdo con Fabre (1986) y Osorno (1994), es sólo Maastrichtiano temprano.

Ulloa y Rodríguez (1979) la definieron como “Miembro Los Pinos” en el Cuadrángulo J-13 (Sogamoso). En esa zona predominan los paquetes blandos de limolitas negras a verdes en capas medias a muy gruesas con intercalaciones de areniscas cuarzosas en capas medias a delgadas con estratificación ondulada paralela, algunos niveles presentan icnofósiles. También capas delgadas a muy delgadas de liditas silíceas de color gris claro, arcillolitas y limolitas laminadas color crema a gris, niveles esporádicos de calizas lumaquéllicas e impregnaciones de sales. La poca exposición de la unidad no permite un cálculo de su espesor, pero se infieren 100 m en la zona

a partir de variaciones laterales de referencias citadas por Díaz y Sotelo (1995) (Velandia, 2003).

Ambiente de sedimentación: Su ambiente de formación de acuerdo con la fauna que presenta, biostromas, pudo haber sido el de aguas marinas poco profundas en zonas de plataforma (Fabre, 1986).

MÉTODOS

Área de estudio

Cinco muestras de roca fueron colectadas siguiendo la ruta que comunica el municipio de Samacá con el municipio de Tunja y fueron utilizadas para el análisis de los especímenes de *Orthokarstenia ewaldi*. Este material fue colectado en cercanías al sitio conocido como La Cumbre donde se encuentra el contacto entre las formaciones Plaeners y Los Pinos que corresponden a los periodos Campaniano-Maastrichtiano (FIGURAS 1 y 2). La zona de estudio muestra la evidencia de plegamientos de tipo local (FIGURA 3). Las rocas son liditas con contenido variable de arcillas, los estratos presentan contactos netos, continuos y paralelos, con zonas irregulares oxidadas producto de la meteorización, aspecto que permitió una mejor exposición de los foraminíferos.

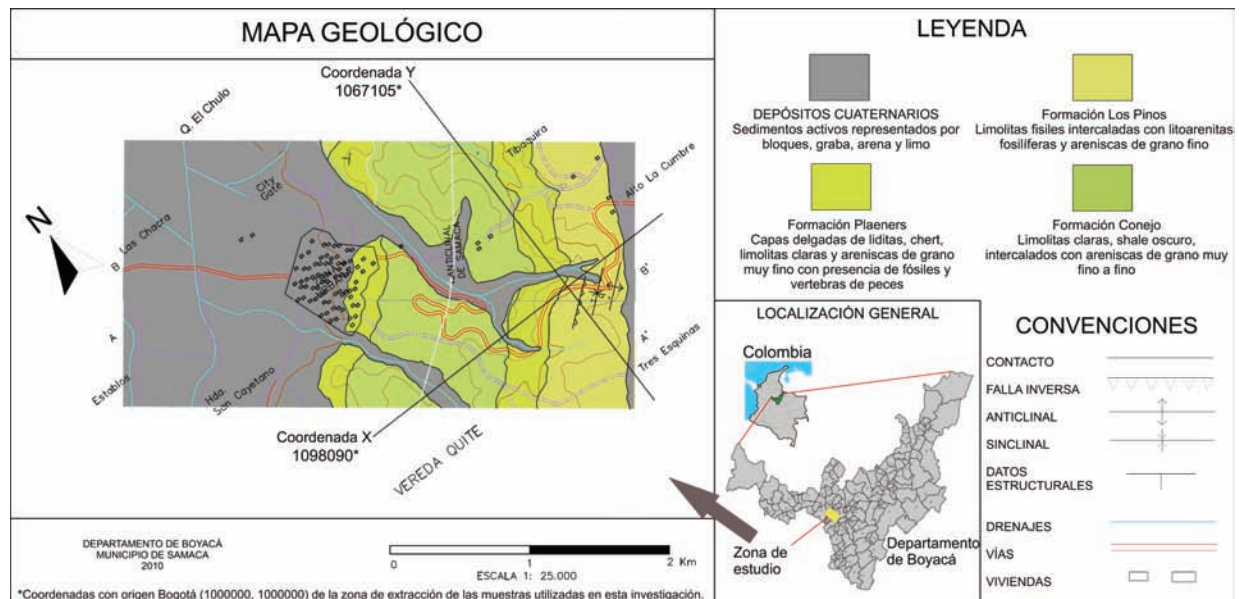


FIGURA 1. Mapa geológico del área de estudio con la ubicación de la sección estudiada.

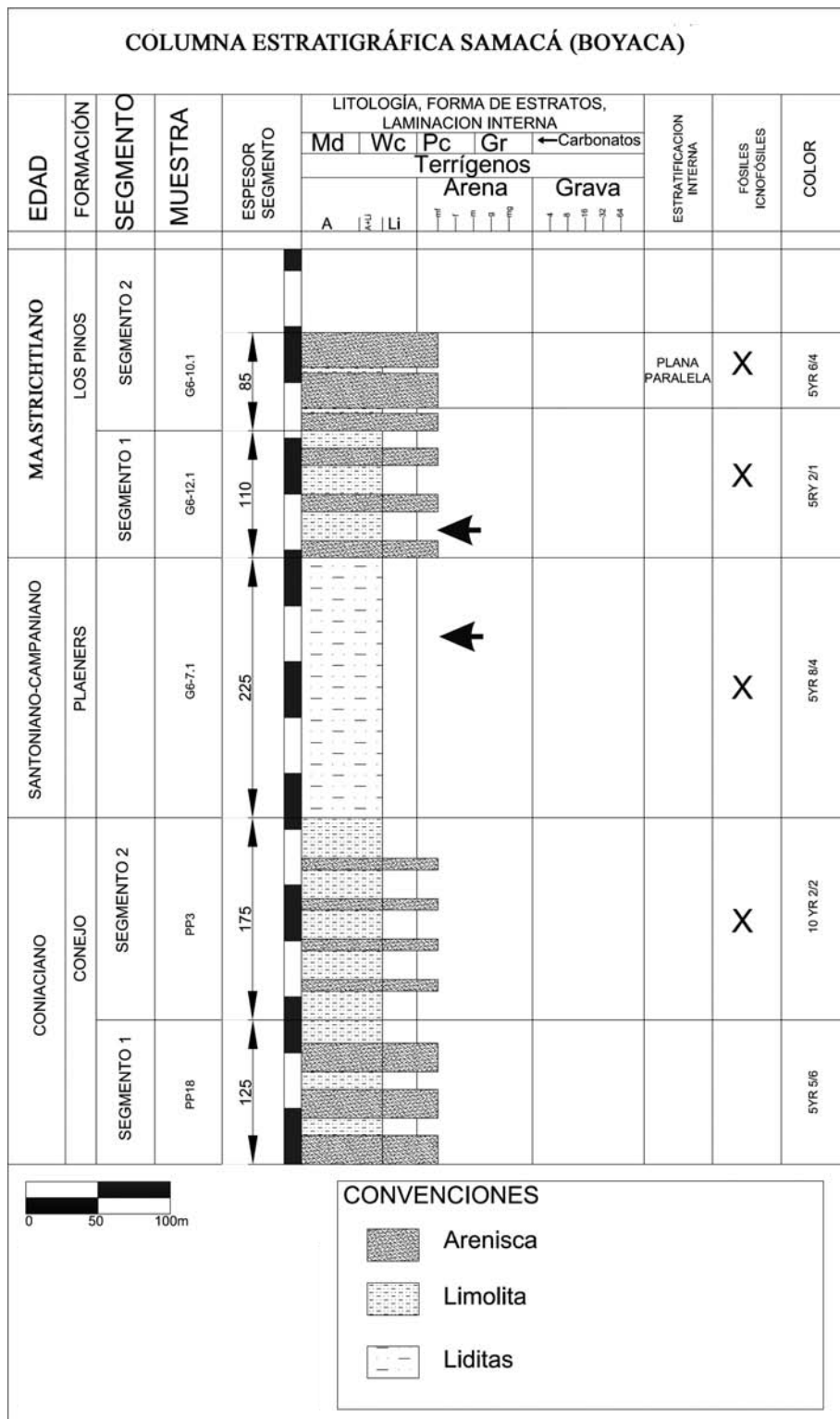


FIGURA 2. Columna generalizada de la zona de estudio en el Municipio de Samacá. Las flechas indican los sitios de colección.



FIGURA 3. Plegamientos locales (anticlinal apretado cortado por una falla inversa)

Análisis de secciones delgadas

Con algunos fragmentos de las rocas colectadas se elaboraron secciones delgadas para detallar la morfología interna de los especímenes y buscar otras especies coexistentes.

Análisis de FT-IR

La espectroscopía de infrarrojos es una técnica útil para el estudio de estructuras moleculares en diferentes productos industriales o minerales. Un espectro de infrarrojo ocurre porque cada grupo funcional en una molécula tiene una frecuencia consistente en la cual absorbe radiación. La intensidad de la absorción es proporcional a la concentración del compuesto analizado, de este modo, si la concentración se incrementa la absorción se incrementa también y la transmisión disminuye (Hill and Rendell, 1975). La utilidad de este método deriva en la sencillez, la rapidez, la mínima cantidad de muestra requerida y el bajo costo de la técnica.

En cada una de las muestras se marcaron tres niveles (superior, medio e inferior) de los que se extrajeron con agujas de punta fina individuos completos de *O. ewaldi*. Cada una de las muestras fue macerada en un mortero de ágata y mezclada con KBr. Una pequeña muestra de esta mezcla se utilizó para elaborar cada una de las pastillas para ser analizadas en un espectrómetro Shimadzu FTIR 8400S de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Microfotografías y Reconstrucción 3D

Se tomaron fotografías para observar la estructura macroscópica y microscópica de *O. ewaldi* utilizando un estereomicroscopio Nikon SMZ645 del laboratorio de Paleontología de la Escuela de Geología y un microscopio Hirox 3D del laboratorio de Biomateriales de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS. Con las imágenes de diferentes profundidades de enfoque

del microscopio 3D se elaboraron reconstrucciones tridimensionales de la estructura de las costillas de cada cámara del foraminífero.

Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) (Análisis Químico Elemental de Plasma)

En LIBS se usa un láser de potencia moderada para generar un plasma sobre la superficie de un sólido en contacto con un gas amortiguador o con el ambiente (aire). Es muy eficiente en la realización de análisis elementales de diversos materiales sólidos conductores, no conductores, líquidos y gases. La técnica LIBS no requiere procesos de pre-tratamiento como la digestión y dilución, que pueden introducir contaminantes y desmejorar la calidad del análisis. LIBS se considera una técnica no-destruictiva debido a las cantidades tan pequeñas que son extraídas (μg) para la formación del plasma (Miller, 1994) además de la opción de análisis in situ de la muestra.

Para este estudio se llevó una muestra de roca al Laboratorio de Espectroscopía Atómica y Molecular de la UIS y mediante LIBS se determinó la presencia de los elementos Fe, Mg y Ca. Se realizaron tres medidas para cada elemento variando el número de los disparos del láser de 10 a 20, esta variación está en estrecha relación con la profundidad de penetración del láser y la estructura de la muestra.

Dispersión

Utilizando el método de la relación entre la varianza y la media en tres tamaños de cuadrantes (1 mm^2 , 4 mm^2 , 9 mm^2) se determinó la dispersión de los especímenes en un área promedio de 144 mm^2 .

RESULTADOS

Las características morfológicas observadas en los especímenes corresponden con las descripciones realizadas por Loeblich and Tappan (1988) para la

especie *Orthokarstenia ewaldi* (Karsten, 1858). Los detalles de la forma, costillas, aberturas y cámaras se aprecian en la FIGURA 4. La estructura de las cámaras de *O. ewaldi* y el relleno interno de las mismas junto con

la morfología de la generación haploide uninucleada asexual (gamonte o megalosférica) y la generación diploide multinucleada sexual (agamonte microsferica) se detallan en la FIGURA 5.

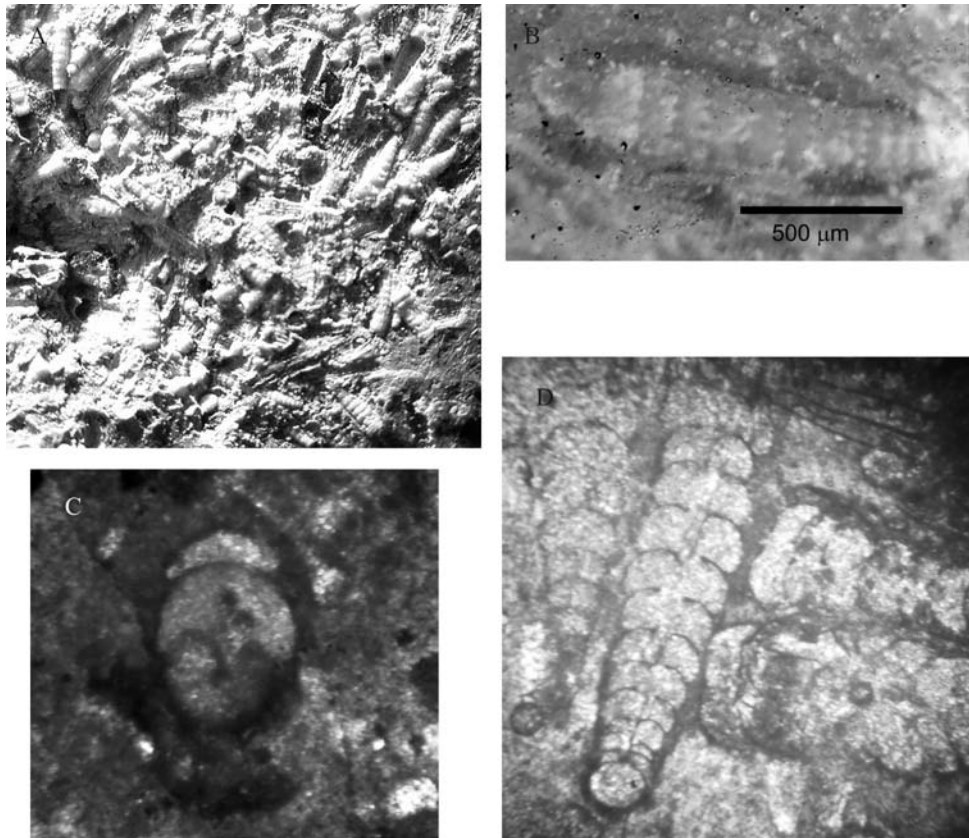


FIGURA 4. Morfología de *Orthokarstenia ewaldi*. **A.** Vista general de mano. **B.** Morfología observada al microscopio estereoscópico. **C.** Detalle de la abertura en sección delgada. **D.** Cámaras y prolóculo en sección delgada.

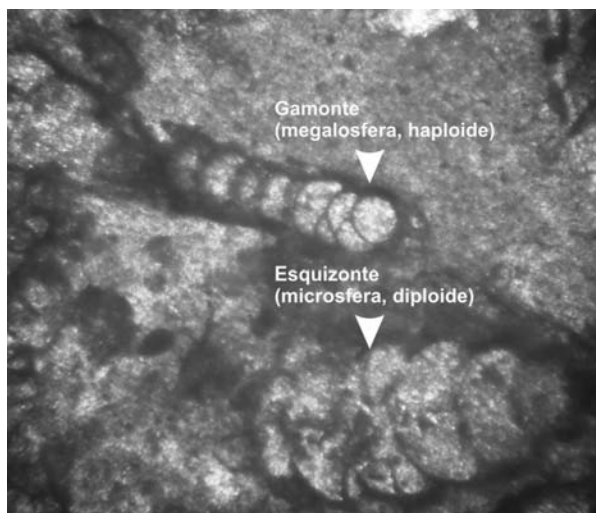


FIGURA 5. Estructura interna de *Orthokarstenia ewaldi*. Detalle de las cámaras. Nótese las diferencias morfológicas de las generaciones.

Los espectros obtenidos mediante espectroscopía de FTIR muestran la composición silíceo de las conchillas y trazas del carbonato de calcio inicial, confirmando el reemplazamiento de carbonato a sílice (FIGURA 6). La TABLA 1 resume los picos característicos para la roca silíceo, los especímenes de *Orthokarstenia ewaldi* y la calcita.

Los análisis por LIBS permitieron determinar la presencia de Fe y Ca, debido a que el estudio se llevó a cabo en un prototipo de láser por lo que los resultados son sólo cualitativos, en la FIGURA 7 se presentan los picos característicos obtenidos para el Fe y el Ca en este tipo de análisis.

En las secciones delgadas se observó que el relleno está constituido por sílice amorfo apreciándose además una débil traza de la concha original como un sedimento fino. Los resultados del método de la relación entre la

varianza y la media en los tres tamaños de cuadrante (1 mm², 4 mm², 9 mm²) permitieron determinar la dispersión de los especímenes en un área promedio de 144 mm². Los valores obtenidos fueron 1.09, 1.59 y 2.39 respectivamente, lo que indicó una distribución

de tipo agrupado para las conchillas de *O. ewaldi* ya que los valores tienden a ser mayores de uno. La distribución agrupada es una tendencia irregular y no fortuita ocurriendo como respuesta a diferencias locales de hábitat.

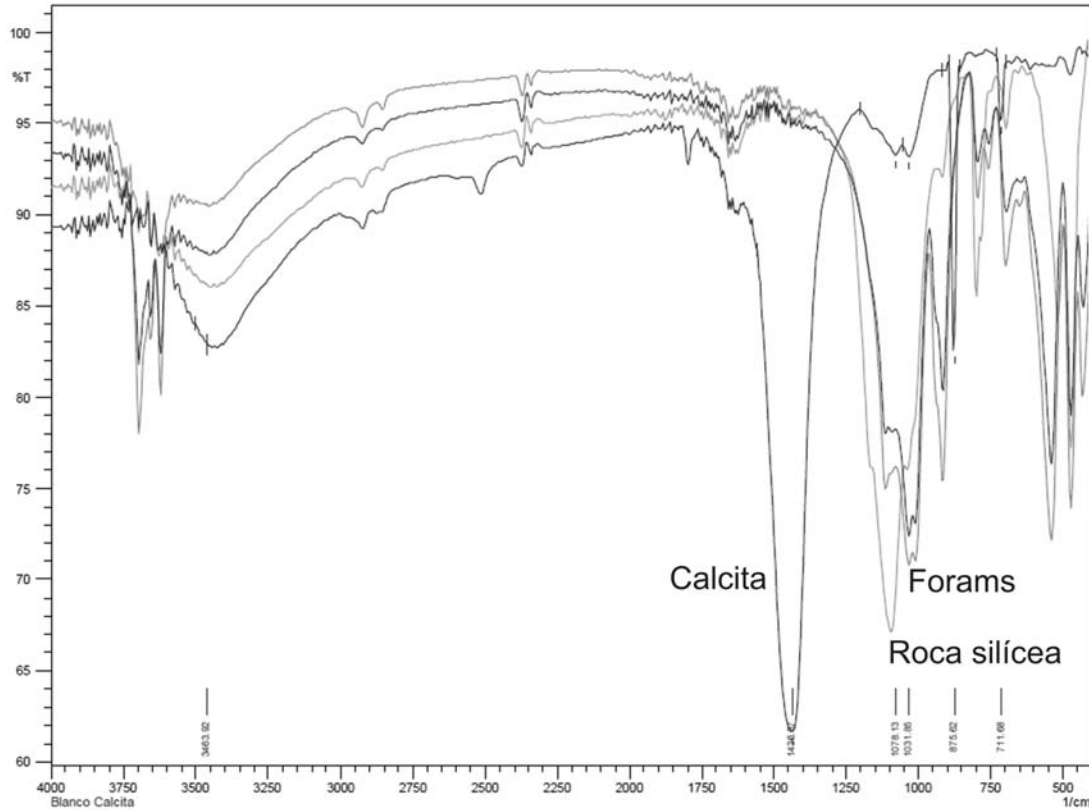


FIGURA 6. Espectros obtenidos de FTIR para la roca y los foraminíferos.

TABLA 1. Longitudes de máxima absorción obtenidas en los análisis de espectroscopia de FTIR.

	Longitudes de onda en nm									
Calcita	1436				875		711		472	
Roca Sílicea		1095	1031			795		510	472	
<i>Orthokarstenia ewaldi</i>		1110	1031	1005	914	795	697	540	510	472

DISCUSIÓN

Caracterización Físico Química

Los especímenes de *O. ewaldi* que se encuentran en la Formación Los Pinos presentan conchas reemplazadas a sílice lo que generó confusiones y estimuló el desarrollo de este trabajo. Con la técnica de espectroscopia de infrarrojos se identificaron los picos de máxima absorción para la roca así como para las conchas de los

foraminíferos (TABLA 1). Los FTIR comprobaron no sólo la composición sílicea de las conchillas, también permitieron determinar las trazas de carbonatos que aún quedaban dentro de las conchas. Es claro que siempre se recomienda utilizar una técnica de análisis químico elemental para confirmar la inferencia realizada a partir de los espectros de FTIR, en este sentido los espectros de LIBS confirmaron las trazas de Ca presentes en las conchillas, por lo tanto, en un sentido estructural las

conchillas de *O. ewaldi* están compuestas de sílice y carbonato de calcio en baja proporción.

Internamente las cámaras de las conchillas están rellenas por sílice amorfo tipo ópalo proceso que

ocurrió en ambientes con pH inferiores a nueve que facilitaron la precipitación del mismo. La capa delgada de sedimento fino que delinea las cámaras corresponde con los relictos del carbonato original (FIGURA 5).

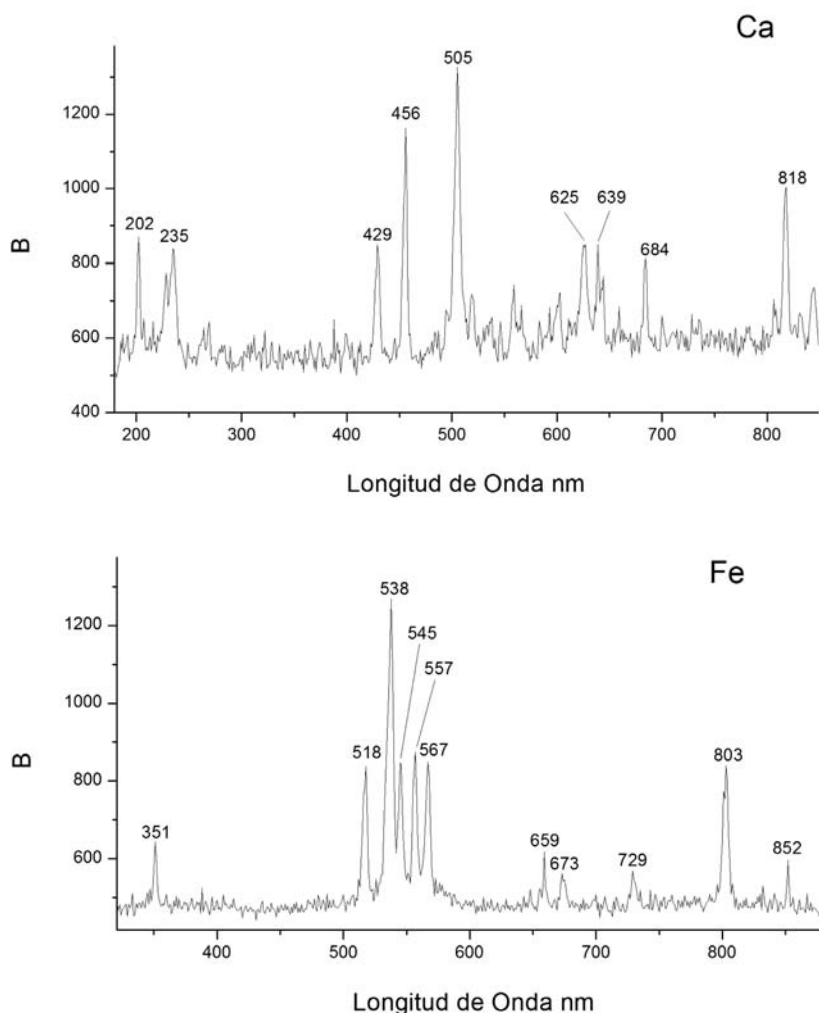


FIGURA 7. Espectros obtenidos por LIBS para el Ca y el Fe en la roca. No se debe considerar la escala de Y.

Mecanismos de Alteración Tafonómica

La descripción original de *O. ewaldi* de Karsten (1858) estableció que la conchilla de ésta especie es de carbonato de calcio, los especímenes colectados de la Formación Los Pinos son principalmente síliceos, lo que implica dos procesos tafonómicos: uno de reemplazamiento y otro de cementación de las cavidades, ya que los especímenes mostraron las cavidades rellenas con nuevos materiales por precipitación química apreciándose cristales de cuarzo amorfo tipo “ópalo” como se aprecia en la FIGURA 5 al interior del prolóculo. El reemplazamiento de

carbonato de calcio a sílice no es muy claro todavía pero se asume que está asociado (para esta zona) con una intensa actividad tectónica similar a la registrada al este de la Cuenca de Maracaibo y que afectó la configuración de la plataforma de la Formación La Luna del Santoniano de Venezuela (Parra *et al*, 2003). Esta intensa actividad tectónica generó condiciones de anoxia en los pisos marinos incrementando la erosión de las formaciones de ese periodo para estas zonas. Con base en la información registrada en las rocas se puede confirmar que la anoxigenia y la acidez afectaron a la Formación Los Pinos pero que dicho

efecto no fue tan drástico como en la Formación Plaeners (Campaniano-Maastrichtiano) donde se observan sólo las cavidades (moldes) de foraminíferos de la especie *O. ewaldi* (FIGURA 8). Esta evidencia permite la formulación de la siguiente hipótesis: “En las secciones (Formación Plaeners) donde aparecen las cavidades con las impresiones de *O. ewaldi* no se había realizado el proceso de reemplazamiento de carbonato de calcio a sílice o no se había avanzado como en otros lugares y por esta razón cuando el océano alcanzó niveles de oxígeno más bajos y la acidez incrementó, dichas conchillas se disolvieron”. Según Bustillo y Alonso-Zarza, (2003) los procesos de silicificación de carbonatos son muy comunes y están relacionados

con variaciones de pH. Valores de pH inferiores a 9 favorecen la disolución de calcita y la precipitación de la sílice, valores de pH por encima de 9 producen el efecto inverso, por esta razón es posible inferir que los cambios de pH hacia la acidez fueron más rápidos en las zonas donde aparecen las impresiones (Formación Plaeners) y que dichas áreas debieron ser más profundas lo que afectó la concentración (menor) de sílice para silicificación haciendo este proceso más lento en las conchas de *O. ewaldi*. Si se asume la actividad tectónica y algo de vulcanismo se tiene una concentración de CO₂ y H₂S mayor en los océanos y por ende una mayor acidez de los mismos, fenómenos involucrados en los procesos diagenéticos tardíos.

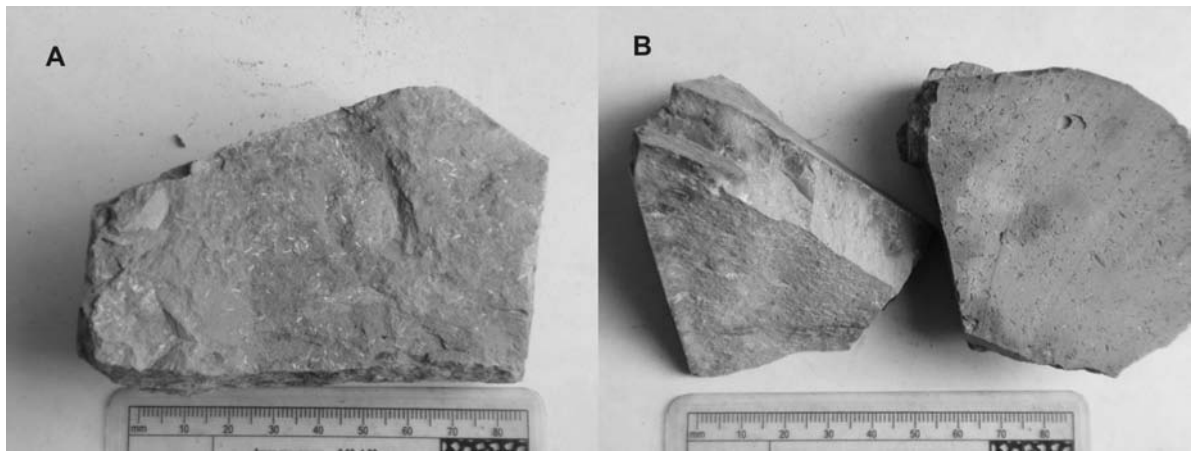


FIGURA 8. Rocas características de la Formación Los Pinos. **A.** Roca con abundancia de conchillas de *Orthokarstenia ewaldi*. **B.** Roca con moldes e impresiones de *O. ewaldi*.

Entre el Campaniano y el Maastrichtiano se asume un periodo de resurgencia de *O. ewaldi* donde las condiciones del océano fueron favorables, es decir, tanto el pH como el oxígeno tuvieron valores más elevados. Así mismo, se supone un segundo evento de

actividad tectónica no tan drástico como el que afectó a la Formación Plaeners, en tal sentido que el pH se mantuvo por encima o igual a un valor de nueve para que se conservara la estructura carbonatada y se diera la completa silicificación (FIGURA 9).

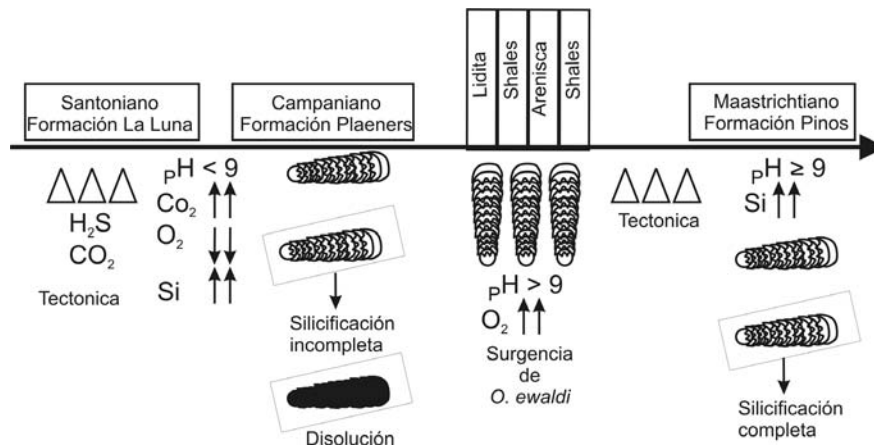


FIGURA 9. Secuencia de eventos sugeridos en la tafonomía de *Orthokarstenia ewaldi* desde el Santoniano al Campaniano superior.

Inferencia Ecológica

La distribución agrupada de *O. ewaldi* sugiere un ambiente infaunal muy dinámico con un grado de bioperturbación y con una concentración de nutrientes dispersa. Así mismo, se infiere que la abundancia de formas megalósfericas (FIGURA 4D) soportan también este tipo de distribución ya que provienen de un mecanismo asexual que facilita la concentración de organismos en áreas limitadas por la concentración de nutrientes. La forma alargada y aguzada de la conchilla son indicativos de ambientes anóxicos y disaerobios (Camacho y Longobucco, 2007), la presencia de las costillas puede ser un indicativo que el ambiente original de *O. ewaldi* era profundo. La ausencia de conchillas de foraminíferos plantónicos se debió principalmente a su condición estenohalina, lo que implica que su densidad era reducida en el área de estudio, donde predominaban condiciones someras y cercanas a la costa, adicionalmente el escaso número de individuos que pudieron haber habitado en esta área no pudieron fosilizar debido a la disolución de las conchillas por el efecto del pH ácido durante o a consecuencia de

los eventos tectónicos ya que dichas conchillas son delgadas, delicadas y frágiles en comparación con las de los foraminíferos bentónicos. Según Camacho y Longobucco (2007) la disolución es muy intensa en medios muy someros y marginales como manglares y estuarios (ambientes característicos de la zona de estudio para el Maastrichtiano), así mismo depende de los iones carbonato, la temperatura, la presión hidrostática y la concentración de CO₂. La disolución de las conchillas está en relación con la composición, estructura y porosidad, los foraminíferos plantónicos con paredes muy perforadas son los más susceptibles a la disolución (Camacho y Longobucco, 2007).

Se observaron individuos curvados de *O. ewaldi* evidenciando el efecto de la actividad tectónica sobre la elasticidad de las rocas (FIGURA 10), dichas modificaciones de la morfología se consideraron inicialmente como parte de la actividad biológica intraespecífica pero el efecto de la actividad tectónica cobra más peso debido a que dichas curvaturas también se aprecian en los moldes de *O. ewaldi* encontrados en la Formación Plaeners.

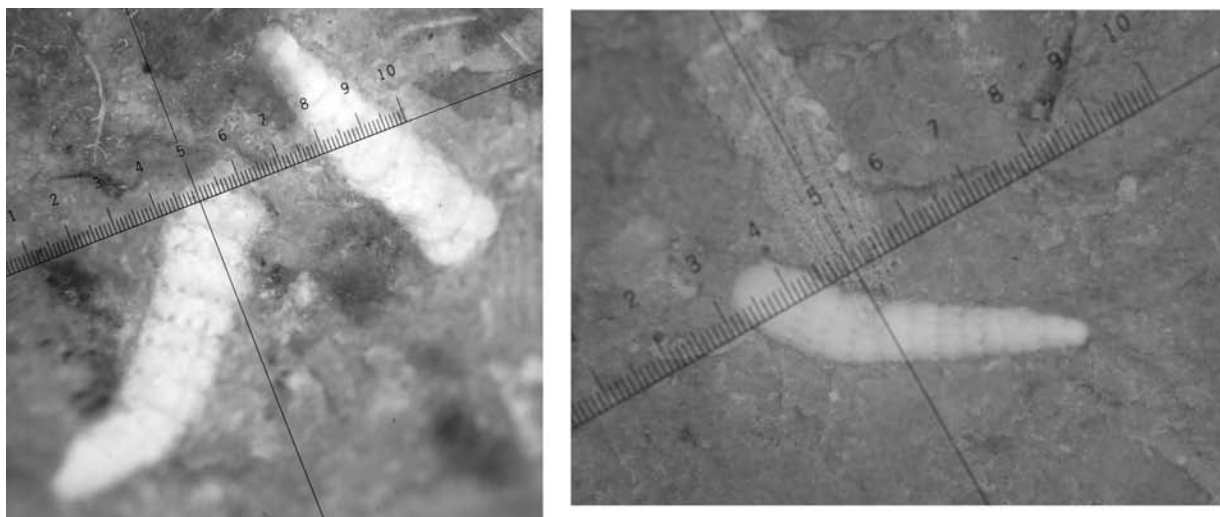


FIGURA 10. Efecto de la tectónica sobre la morfología de *O. ewaldi*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ingeniero Guillermo Acero Medina del Laboratorio de Análisis térmico de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS por la elaboración de las pruebas de FTIR, al laboratorio de Espectroscopía Atómica y Molecular LEAM, al laboratorio de Biomateriales, a la Facultad de Ingenierías Físico Químicas UIS y de igual forma agradecemos a los pares evaluadores por sus recomendaciones y comentarios.

REFERENCIAS

- Bustillo, M.A., y Alonso-Zarza, A.M. 2003. Transformaciones Edáficas y diagenéticas de los depósitos aluviales distales del Mioceno de la Cuenca de Madrid, área de Paracuellos de Jarama. *Estudios Geol.*, 59:39-52.
- Camacho, H., y Longobucco, M. 2007. Los Invertebrados fósiles. Fundación de Historia Natural Feliz de Azara. Universidad Maimónides, 800p.

- Díaz, J., y Sotelo, C. 1995. Análisis estructural de la Falla de Boyacá en un área al oeste de los municipios de Paipa-Duitama. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Fabre, A. 1986. Geologie de la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillère Orientale de Colombie). These présentée à la Faculté des Sciences de l'université de Genève pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences de la Terre, Genève.
- Hill, R.R., and Rendel, D.A.E. 1975. The Interpretation of Infrared Spectra. London: Heyden, 375p.
- Karsten, H. 1858. Uber die geognostischen verhältnisse des westlichen Columbien, der heutigen Republiken Nev-Granada and Equator. Amtl.Ber.32. Versammlung Deutsches Naturforscher.
- Koutsoukos, A.M. and Hart, M.B. 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.
- Loeblich, A.R. Jr. and Tappan, H. 1988. Foraminiferal Genera and their Classification. Van Nostrand Reinhold Company (ed), 2: 1-970.
- Martínez, J.I. 1995. Microfósiles del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas (Campaniano–Maastrichtiano) en la sección de Tausa, Cundinamarca, Colombia. Ciencia, Tecnología y Futuro, 1(1): 65–82.
- Miller, J.C. 1994. Laser Ablation, principles and applications. Springer-Verlag. New York.
- Ogg, J.G. and Ogg, G. 2008. Late Cretaceous 65-100 Ma time. Consultado el 15 de junio de 2011 en https://engineering.purdue.edu/Stratigraphy/charts/Timeslices/3_Late_Cret.pdf
- Osorno, JF. 1994. Estratigrafía y ambientes de depósito de la secuencia regresiva localizada al NE de Sogamoso. Tesis de Grado, Universidad de Caldas, 102p.
- Parra, M., Moscardelli, L. and Lorente, M.A. 2003. Late Anoxia and lateral Microfacies Changes in the Tres Esquinas Member, La Luna Formation, Western Venezuela. Palaios, 18: 321-333.
- Pérez, G. y Salazar, A. 1978. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe. Geología Colombiana, 10: 7-85.
- Renzoni, G. 1981. Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja. Boletín Geológico, 24(2): 31-48.
- Rey, O. 2007. Distribución de Foraminíferos en el Santoniense y su relación con el evento anóxico EAO3: Formación La Luna, Rio San Miguel, Estado Mérida. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, 22: 59-72.
- Ulloa, C., y Rodríguez, E. 1979. Guía Geológica de las planchas 170 Vélez y 190 Chiquinquirá. INGEOMINAS, Informe 1794. Bogotá.
- Velandia, F. 2003. Informe técnico cartografía geológica y estructural sector sur del municipio de Paipa, proyecto de geodinámica. INGEOMINAS, 31p.

Trabajo recibido: Octubre 14 de 2011
Trabajo aceptado: Diciembre 14 de 2011