

Análisis paleoambiental de sedimentos lateríticos del depósito Camarioca, Moa, Cuba

Rafael A. LÓPEZ-MARTÍNEZ ¹	rlopezm@ismm.edu.cu
Reinaldo ROJAS-CONSUEGRA ²	rojas@mnhnc.inf.cu
Jorge L. URRRA-ABRAIRA ³	jurra@moanickel.com.cu
Adrián MARTÍNEZ-VARGAS ¹	amvargas@ismm.edu.cu

Resumen

En el yacimiento niquelífero Camarioca, Cuba Oriental, hay sedimentos lateríticos bien documentados, que contienen un registro paleontológico espacialmente distribuido. Tomando como base las entidades taxoregistráticas en el área, se hizo la reconstrucción paleoambiental del sistema deposicional. Se realizó el análisis de la diversidad de las asociaciones registradas, el estudio de las variaciones de los factores de estrés, las reconstrucciones paleobatimétrica y paleoecológica y la correlación taxonómica. La combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas de análisis de datos paleontológicos, arrojó resultados que evidencian el establecimiento en la región, durante el Mioceno–Plioceno, de un sistema deposicional de plataforma interna protegida con mayor energía de deposición hacia el sur, y profundidades que se incrementaron de 0-30 m al sur hasta los 100 m al norte.

Palabras clave

Lateritas sedimentarias, paleontología cuantitativa, reconstrucción paleoambiental, análisis cladístico.

Recibido: septiembre 2007 / Aceptado: diciembre 2007

¹ Instituto Superior Minero Metalúrgico. Las Coloradas s/n, Moa, Cuba.

² Museo Nacional de Historia Natural.

³ Moa-Nickel S.A.

Paleoenvironmental analysis of sedimentary laterites at Camarioca deposit, Moa, Cuba

Abstract

There are well documented lateritic deposits at Camarioca nickel site in the Eastern part of Cuba, which contain a spatially distributed paleontological record. Taking as a starting point the gathered data at the site, a paleo-environment reconstruction of the depositional systems was carried out through the analysis of the observed associations diversity, the study of variations on stress factors, paleo-bathymetry and paleo-ecology reconstructions and taxorregistic correlations. The combination of both, quantitative and qualitative analytical techniques of paleontological data, yielded results that provided evidence of the existence of an internal depositional platform system protected with a greater depositional energy to the south and depths which were increased from 0-30 m south to 100 m north.

Key words

Sedimentary laterite, cuantitative paleontology, paleo-environmental reconstruction, cladistic analisis.

INTRODUCCIÓN

Durante el estudio de los depósitos minerales ferroniquelíferos de Moa, en Cuba oriental, Adamovich & Chejovich (1962, 1964); Aguenko (1973); Sitnikov (1976), Formell & Oro (1980), entre otros, reportan la existencia, en el yacimiento Camarioca, de cortezas lateríticas erosionadas y sedimentadas en diferentes ambientes, las cuales coexisten con cortezas residuales *in situ*.

Sitnikov (1976) reporta la presencia de fósiles de origen marino y toma muestras paleontológicas en diferentes niveles estratigráficos, dispersas en toda el área del depósito. Estos fósiles permitieron datar los procesos sedimentarios antes mencionados, como Mioceno Inferior — Plioceno, sin embargo hasta la fecha no se conocía el modelo paleoambiental del sistema deposicional.

El modelo paleoambiental es de gran interés para la prospección y explotación minera, pues puede explicar el carácter de la continuidad espacial del depósito mineral. El objetivo de esta investigación fue reconstruir los paleoambientes de deposición y establecer el régimen energético de la sedimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos paleontológicos utilizados proceden del informe de Sitnikov (1976), el cual presenta los resultados del muestro paleontológico de testigos de pozos construidos para estudios mineralógicos, con intervalo de muestro continuo de un metro de longitud; con igual intervalo tomó muestras de surcos en cada una de las paredes de pozos criollos de sección cuadrada, de 1x1 m. Sitnikov reporta un total de 19 pozos con fósiles, identificando foraminíferos planctónicos, bentónicos, corales, espículas de esponjas y radiolas de equinodermos.

Para el análisis paleontológico cuantitativo sólo se emplearon los foraminíferos: *Astigerina carinata*, *Globigerina* aff. *sicanus*, *Peneroplidae* sp., *G.* aff. *trilobus*, *Archaias* sp., *Pyrgo* sp.,

Globigerina sp., *Cybicides* sp., *Rotalia rosea*, *Elphidium* sp., *Globoquadrina altispira*, *Eogrudina* cf. *elegans*, *Globorotalia* sp., *Articulina* sp., *Quinqueloculina* sp., *Amphistegina* sp.

Para validar la información obtenida por Sitnikov, se realizó un muestro de comprobación, próximo a cinco de los pozos reportados en el informe. Aunque las entidades registradas coincidieron, no se utilizaron las nuevas muestras para evitar alterar la representatividad estadística del muestreo original; al respecto el análisis de rarefacción (Hammer & Harper, 2006), indica la existencia de sesgo en estos datos posiblemente causado por la mala preservación de las entidades.

Para construir el modelo paleoambiental se analizó, en cada punto, la diversidad de las poblaciones tafónicas, las variaciones de la energía deposicional, el estado de conservación de las entidades, la paleobatimetría y la paleoecología, así como la correlación entre las taxa.

Diversidad de las poblaciones tafónicas

Las variaciones en la estructura de las poblaciones taxobiotémicas, producidas por los cambios del ambiente deposicional, se calcularon mediante los índices siguientes:

- Índice de diversidad de Simpson, el cual muestra la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar sean de la misma especie;
- Índice Shanon-Wiener (Raup y Crack, 1979), el que revela entropía;
- Índice Berger-Parker (Magurran, 1988), que cuantifica la dominancia o no de una especie.

Para graficar direccionalmente el comportamiento de las variaciones de las poblaciones tafónicas se utilizó la familia de índices de Renyi (Hammer & Harper, 2006).

Variaciones de los factores de estrés y estado de conservación de las entidades

Es característico de las zonas de alto estrés la presencia de poblaciones con muchos individuos de pocas especies (especies eurioicas), mientras que las zonas de bajo estrés usualmente poseen poblaciones estenóicas. Para identificar las zonas de estrés se realizó el análisis NMMS (*non metric multidimensional scaling*); las distancias no paramétricas se calcularon empleando como criterio la disimilaridad de Kimura, el cual es apropiado para datos de presencia-ausencia; las matrices de distancias se construyeron con el método de Taguchi & Oono (2007), similar al método clásico de Shepard-Kruskal (Hamer & Harper, 2006). La validez del resultado, indicado por las distancias entre los *rank* originales y los obtenidos, se evaluó mediante el gráfico de Shepard y el valor de estrés; el cual debe ser lo más próximo posible a cero en caso de una reducción adecuada de la dimensionalidad del sistema multivariado.

Para evaluar el parámetro energía deposicional se empleó como criterio el estado de conservación de las entidades registradas, de Fernández-López (1997), que relaciona el grado de fracturación de las mismas y la energía del ambiente deposicional.

Paleobatimetría y paleoecología

Para el análisis paleobatimétrico se utilizó el Índice de Foraminíferos Planctónicos (Canudo & Molina, 1992; Arenillas *et al.*, 2000); este índice permite ubicar de manera precisa la zona paleobatimétrica en que se encontraban los taxobiotemas. Su expresión matemática es:

$$\frac{P}{B} = \frac{Fp}{(Fp + Pb)} \times 100$$

donde: P\B - es el Índice de Foraminíferos Planctónicos, Fp - Foraminíferos planctónicos y Fb - Foraminíferos bentónicos.

El análisis paleoecológico se realizó utilizando la metodología tratada por Brasier (1980) y Molina (2000), en la que se grafican la cantidades de taxa de los subórdenes Textulariina, Rotaliina y Milioliina, en un diagrama ternario en el que las zonas que ocupa la nube de puntos corresponden a diferentes zonas paleoecológicas. Las relaciones entre los taxobiotemas de estas zonas se obtuvo a partir de un análisis de agrupamiento (*cluster*), empleando la distancia de Dice (Hammer & Harper, 2006).

Correlación taxonómica

Para agrupar los puntos en cuanto a su similitud taxonómica se utilizó el análisis de parsimonia de Brooks (1990). El análisis cladístico se empleó para la reconstrucción paleobiogeográfica. Este método, propuesto por Mickevich (1981), quien utiliza las taxa como caracteres de las poblaciones, permite obtener un mapa paleobiogeográfico que describe la asociación entre las interrelaciones de un grupo de taxa y las localidades en las que habitaron. Espinosa y Llorente (1993) muestran un ejemplo simplificado formado por ocho taxa que se distribuyen en tres áreas: A, B y C (Figura 1a) y el cladograma resultante (Figura 1b).

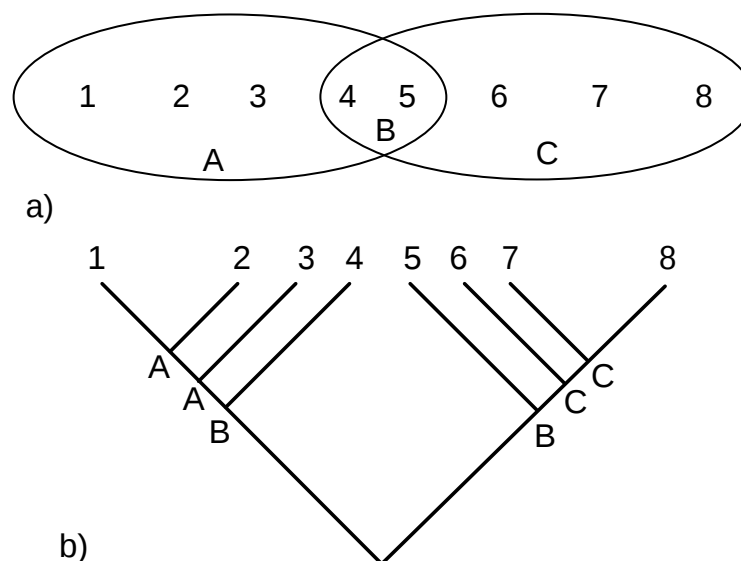


Figura 1. Zonas paleobiogeográficas a) y cladograma asociado b). Modificado de Espinosa & Llorente, 1993

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En general, la diversidad en las poblaciones tafónicas es baja. Una causa de esto pudiera ser los cambios bruscos de salinidad, evidenciada por la presencia de los géneros *Elphidium*, *Astigerina*, *Archaias* (Tabla 1), que toleran cambios de aguas salobres hasta hipersalinas (Bolvstovskoy, 1960). En foraminíferos bentónicos actuales se nota una disminución de la diversidad al aumentar la turbidez (Myers, 1942), propia de ambientes con alta energía, siendo esta otra de las posibles causas de la baja diversidad.

Hacia el norte se incrementa la diversidad, posiblemente debido a la existencia de condiciones ambientales más estables, que favorecen una mejor estructura de la paleocomunidad. Hacia el sur, los taxoregistros están representados por especies de estrategia ecológica tipo r (oportunistas), por lo que pudieron estar sometidos a fuerte estrés, según estudios de López-Martínez del año 2000 (Figura 2 y Tabla 1).

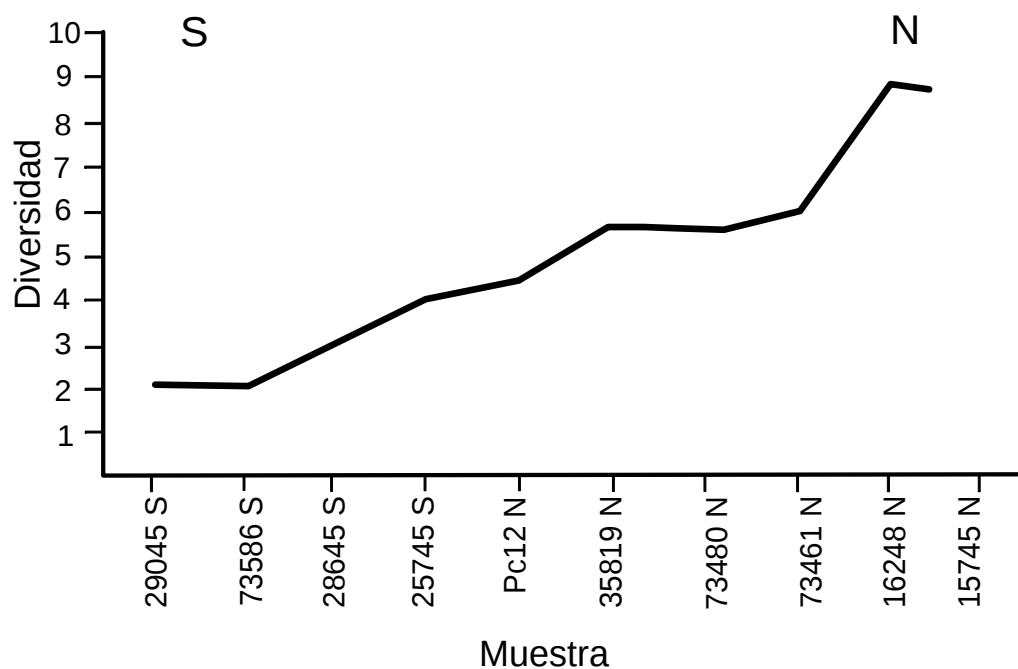


Figura 2. Curva de comparación de diversidad taxorregistrática en el perfil norte - sur.

Tabla 1. Matriz de ausencia (blanco) y presencia (azul) de las taxa en el yacimiento Camarioca

Pozo	Coordenada Y	Eogludina	Articulina	Elphidium	Globigerina	Astigerina	Peneroplus	Archaias	Rotalia	Globocucadrina	Globorotalia	Ququeloculina	Globigerinoides	Pyrgo	Cibicides	Miliolids	Amphistegina
35819N	215556																
Pc12N	215540																
15746N	215433																
16246N	214848																
73461N	214251																
73486N	213663																
73586S	212748																
25745S	211847																
29045S	210648																
28645S	210645																

El gráfico NMMDS (Figura 3), muestra aglomeración de los puntos correspondientes al sector sur, lo que indica un elevado grado de similitud entre ellos, posiblemente causado por una igualdad de condiciones de estrés. Los puntos del sector norte se encuentran más dispersos, debido a que las poblaciones de mayor diversidad poseen rangos de variaciones mayores en las matrices de disimilaridad. Este gráfico no muestra la magnitud relativa del estrés.

Una medida de la magnitud del estrés sufrido por las entidades registradas es el grado de conservación tafonómica. Al respecto Sitnikov (1976), reporta que al sur, los fósiles se encuentran mal preservados, por lo general sólo aparecen como fragmentos. Esta información fue confirmada en el muestreo comprobatorio, encontrando principalmente fragmentos de *Amphistegina* sp. La presencia de entidades conservadas fragmentadas es un rasgo común en las zonas tafonómicas activas (Fernández-López, 1997), donde ocurre un retrabajamiento, resedimentación y otros procesos tafogénicos, que pueden llevar a la fragmentación de los fósiles.

El sector norte está caracterizado tafonómicamente por un mejor estado de conservación de las entidades registradas, las testas de *Amphistegina* sp. se encuentran completas; ello evidencia que la energía del sistema deposicional fue menor hacia esta zona.

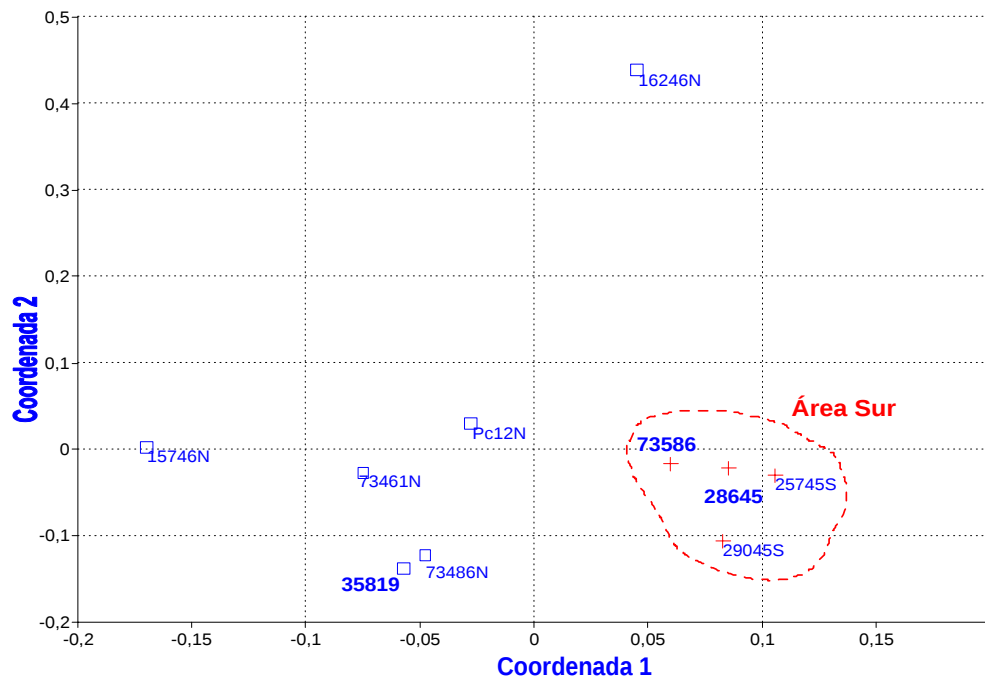


Figura 3. *Non-metric-multidimensional scaling* (NMMDS). Distancia Kimura. Estrés igual a 0,21. Los cuadros azules pertenecen al sector norte y las cruces rojas al sector sur.

Si bien las características tafonómicas brindan información sobre la energía de deposición, no explican la causa de esta variación, y una vía para comprenderla es la paleobatimetría existente en ambas áreas. Hacia el sur el Índice de Foraminíferos Planctónicos es igual a cero, hacia el norte toma valor de 32,2. Esto parece indicar que el sector sur estuvo dominado por foraminíferos bentónicos, típico de mares de altas energía y turbidez, y muy someros, con profundidades de hasta treinta metros. Este índice sugiere que en el sector norte existieron profundidades de treinta a cien metros.

El diagrama ternario de los subórdenes Textulariina, Rotaliina y Milioliina (Figura 4), sugiere que la región paleoecológica donde se encontraban los taxobiobiotemas perteneció a la zona de plataforma interna protegida (Brasier, 1980; Molina, 2000).

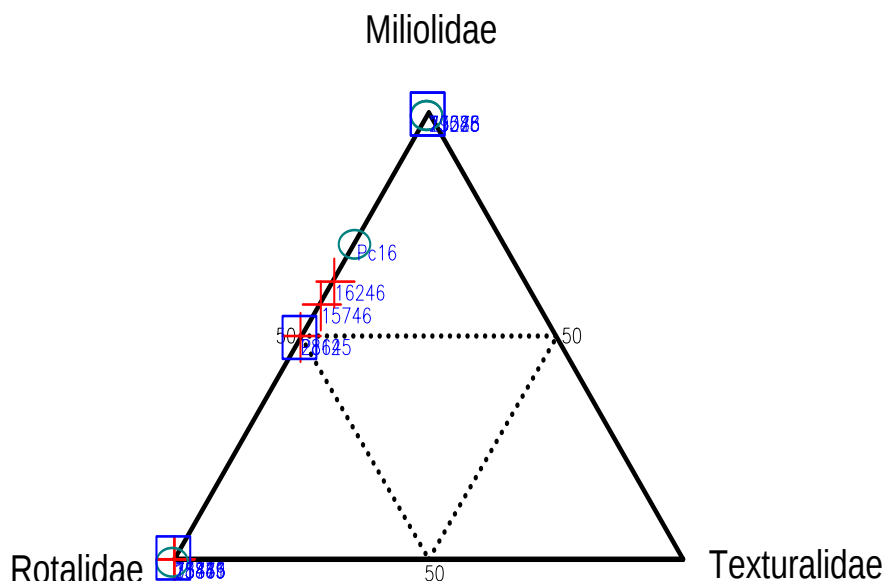


Figura 4. Diagrama ternario donde se muestran las relaciones entre Miliolidae, Rotalidae y Texturalidae.

El análisis cluster, utilizando la distancia de Dice, brinda información sobre las relaciones paleoecológicas entre las taxa de los puntos muestreados, apreciándose tres grupos principales (Figura 5); el primero, asociado a los taxobiotemas *Quinqueloculina*, *Cibicides*, *Pygo* y *Elphidium*, que solamente aparecen en el sector norte; el segundo, representado por *Peneroplis* y *Archaias*, el grupo más cosmopolita; y el tercero, de *Amphistegina* sp., que posee una clara preferencia hacia el sur (Tabla 1). Se interpreta que en la región de estudio, *Amphistegina* estuvo asociada en la mayoría de los casos a la zona de máxima energía, *Peneroplis* y *Archaias* a la de energía mediana-alta, y *Cibicides* a la de menor energía relativa.

Los sectores norte y sur se diferencian por su contenido fosilífero, tal como lo ilustra el cladograma (Figura 6a), el cual posee un coeficiente de consistencia de 0,7. Similar idea sugiere el cladograma de consenso (Figura 6b). Estos gráficos también revelan la existencia de una zona intermedia que comparte características taxonómicas. La distribución espacial de las tres zonas mencionadas se representa de forma esquemática en la Figura 7.

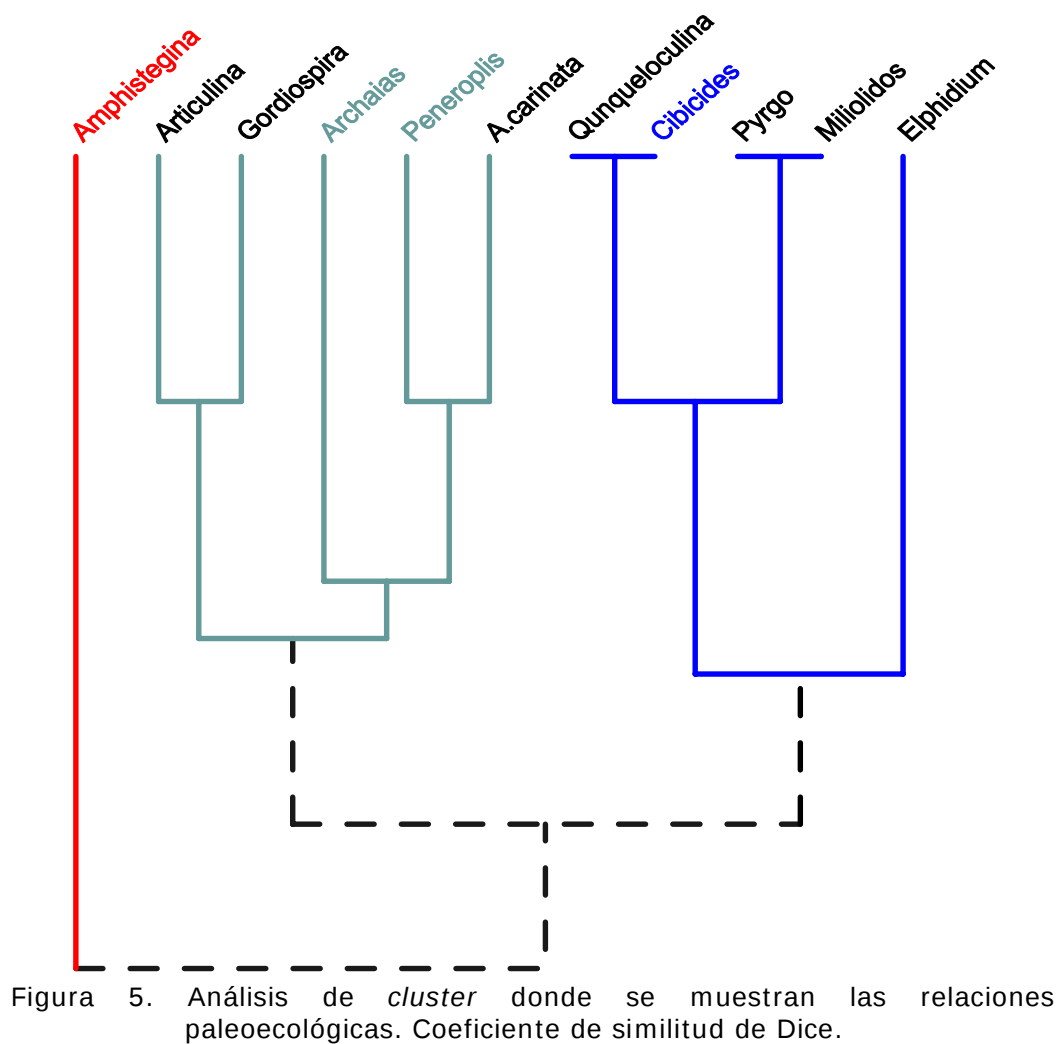


Figura 5. Análisis de cluster donde se muestran las relaciones paleoecológicas. Coeficiente de similitud de Dice.

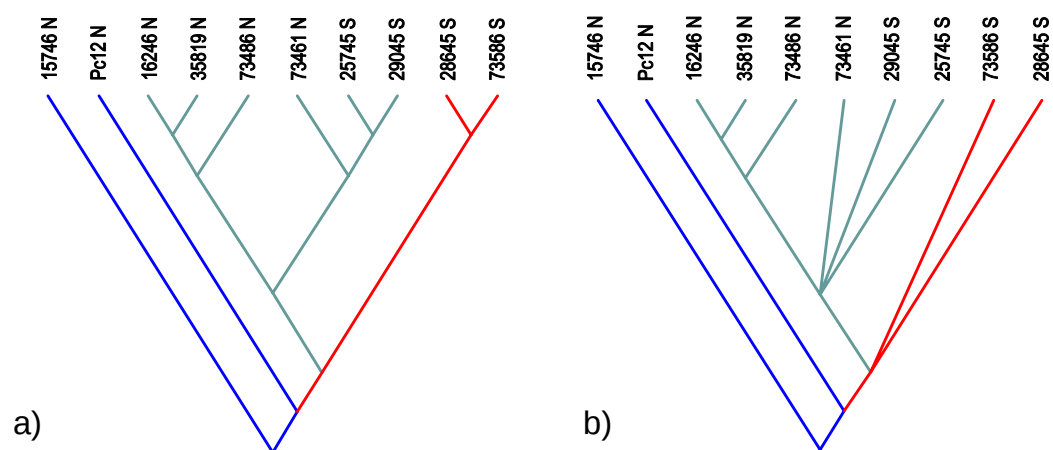


Figura 6. a) Uno de los cladogramas de las relaciones de los puntos Sur y norte, y b) cladograma de consenso.

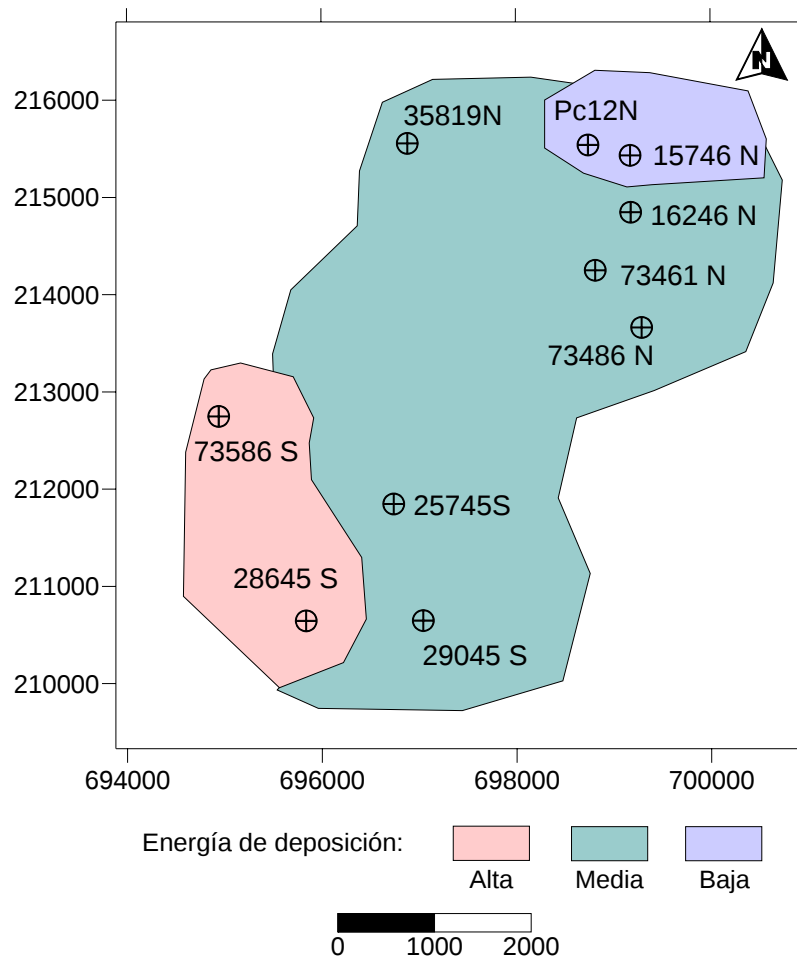


Figura 7. Reconstrucción de las áreas energéticas principales.

CONCLUSIONES

El análisis de las taxa presentes en las lateritas sedimentarias del yacimiento Camarioca evidencia la existencia de un sistema deposicional ubicado en una plataforma interna protegida. Las profundidades en la zona norte oscilaban entre los treinta y cien metros, con una baja energía deposicional, la cual se incrementó hacia la zona sur cuyas profundidades variaban de cero a treinta metros. Esta reconstrucción paleoambiental es congruente con el comienzo de una transgresión general de pequeña magnitud en el Mioceno Inferior.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte de las investigaciones del proyecto Paleobiota y Bioeventos en Cuba: Herencia de la Tierra y Patrimonio Natural (2079) de la Agencia de Medio Ambiente. CITMA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMOVICH, A. & CHEJOVICH, V. 1962: Estructura geológica y minerales útiles de la zona de Moa a escala 1: 50 000. *CNFG*.
- ADAMOVICH, A., CHEJOVICH, V. 1964: Acerca de la cuestión de las condiciones de formación de cortezas de intemperismo en las regiones geosinclinales. *Noticias de la Academia de Ciencias de la URSS*. No 2
- AGUENKO, N. 1973. Informe de los resultados de exploración detallada realizada en el yacimiento Punta Gorda 1973-1976. Archivo del Centro Nacional de Fondo Geológico. Inv. 2874.
- ARENILLAS, I. ALEGRET, L. ARZ, J. & MOLINA, E. 2000. The didactic use of the Foraminifera in the teaching Herat Sciences. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Prensa Universitaria de Zaragoza. 108-118
- BOLVSTOVSKOY, E. 1960. Los Foraminíferos Recientes. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 510 p.
- BRASIER, M, D. 1980. Microfossils. British Library Cataloguin Data. 193 p.
- BROOKS, D. R. 1990. Parsimony analysis in historical biogeography and coevolution: Methodological and theoretical update. *Syst. Zool.*, 39: 14-30.
- CANUDO J. & MOLINA E. 1992. Bioestratigrafía y Evolución de los foraminíferos planctónicos del Limite Cretácico/Terciario en Osinaga (Pirineo de Navarra). III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca. Simposios, vol 2 p. 54-62.
- ESPINOSA, D. & J. LLORENTE. 1993. Fundamentos de biogeografías Filogenéticas. UNAM y Conabio. 120 p.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S. 1997. Ammonites, clinos tafonómicos y ambientes sedimentarios. *Revista Española de Paleontología*, 12 :102-128.
- FORMELL CORTINA, F. & ORO, J.R, 1980. Sobre los procesos de redeposición en el Yacimiento Punta Gorda. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 2 :25-38.
- HAMMER, O & HARPER D. 2006. Paleontological data analisis. John Wiley & Sons, Chichester. 162 p.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N, 2000. Paleontología. (Ed) Consejo Superior de Investigaciones científicas, Madrid: 145 p.

- MICKEVICH, M. F. 1981. Quantitative phylogenetic biogeography, en: Funk, V.A. & D.R. Brooks (eds.), *Advances in cladistics: Proceedings of the First Meeting of the Willi Hennig Society*, New York Botanical Garden, New York. p. 202-222
- MOLINA, E. (edit). 2000. *Micropaleontología*. Prensas Universitarias. Zaragoza. 634 p.
- MYERS, E. H. 1942 Relationship of some recent and fossils Foraminifera. *Nat Res Counc. Div Geológica*, 3 :46-61
- RAUP, D. & R.E. CRICK. 1979. Measurement of faunal similarity in paleontology. *Journal of Paleontology* 53, :1213-1227.
- SITNIKOV, V. 1976. Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
- TAGUCHI, Y-H. & OONO, Y. 2007. Novel non-metric MDS algorithm with confidence level test. *Mathematical Geology*, 21 :411- 427.