# DINOFLAGELADOS DEL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO INFERIOR DE NIGERIA: IMPLICACIONES PALEOCLIMATICAS

HERNAN JAVIER ANTOLINEZ DELGADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS ESCUELA DE GEOLOGIA BUCARAMANGA 2004

# DINOFLAGELADOS DEL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO INFERIOR DE NIGERIA: IMPLICACIONES PALEOCLIMATICAS

HERNAN JAVIER ANTOLINEZ DELGADO

# TRABAJO DE GRADO REALIZADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE GEOLOGO

Directores Marco Idelfonso Alvarez Bastos Universidad Industrial de Santander

Carlos Alberto Jaramillo Muñoz Ecopetrol-Instituto Colombiano del Petróleo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS ESCUELA DE GEOLOGIA BUCARAMANGA 2004

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Carlos Jaramillo por hacer posible la realización de este proyecto, por compartir tanto de su amplio conocimiento y experiencia en el campo de la palinología y las Ciencias de la Tierra y por enseñarme su manera de hacer ciencia. Por ser un maestro y un amigo, por su optimismo y por su excelente dirección.

A la doctora Francisca Oboh-Ikuenobe de la Universidad de Missouri-Rolla por proporcionar las muestras palinológicas objeto de este estudio.

A la Universidad Industrial de Santander y al Instituto Colombiano del Petróleo de Ecopetrol S.A., por proporcionarme los medios físicos y el patrocinio necesarios para realizar este estudio, a través del convenio específico 005-2003. Agradezco a la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la Republica (Proy. 1.624) y a la Corporación Geológica Ares por la financiación parcial de este proyecto.

A los profesores Luis Enrique Cruz y Marco Alvarez de la Escuela de Geología UIS por su colaboración y dirección en las etapas inicial y final del proyecto, respectivamente y a los profesores Fernando Muñoz de Ecopetrol-ICP y Jairo Clavijo de Ingeominas por sus comentarios y recomendaciones, que ayudaron a mejorar considerablemente el documento final de esta tesis.

A los Paleomorfos por su apoyo, su amistad y por su actitud siempre dispuesta al dialogo y a la discusión científica, a los asados, a los cafés, etc. Quiero agradecer especialmente a Fabiany Herrera por sus charlas acerca de "The cool tropical paradox" y el clima del Paleógeno.

A mis amigos de la Universidad y del Tecnológico por acompañarme en tantos momentos importantes de mi vida y por hacer la experiencia universitaria algo tan agradable divertido y enriquecedor.

A las familias García-Delgado, Delgado-Vaquero, Delgado-Contreras y especialmente a Gabino Delgado y Gabriel Delgado por su inmenso apoyo y cariño. A todos ellos por acompañarme en los momentos tristes y alegres, por ser mis amigos incondicionales y por patrocinar todos los planes de fines de semana, vacaciones, paseos, comidas etc.

A la familia Florez-Arce por hacerme sentir como un miembro más de la familia, por su alegría y amabilidad y a Adriana Paola por creer en mí, por su cariño y su sabiduría, por enseñarme nuevas formas de ver la vida, por sus valiosas palabras en los momentos oportunos, por querer a quienes quiero y por ser mi amor, mi cómplice y todo.

A mis papás María Antonia y José y a mi hermano Carlos Andrés a quienes dedico este trabajo y a quienes debo todo lo que soy. Quienes han apoyado todas mis ideas y mis decisiones y a quienes estaré eternamente agradecido por lo completa y feliz que han hecho mi vida.

# CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| Introducción  |      |
| 1. Objetivos  | 3    |
| 2. Materiales   | 4    |
| 3. Métodos  | 6    |
| 3.1 Análisis de las placas palinológicas              | 6    |
| 3.2 Tratamiento estadístico                           | 8    |
| 4. Resultados   | 10   |
| 4.1 Distribución estratigráfica de los dinoflagelados | 13   |

| 4.2 Distribución cuantitativa de los dinoflagelados   | 16 |
|---|----|
| 4.3 Análisis estadístico                              | 19 |
| 5. Discusión  | 22 |
| 5.1 Consideraciones acerca de la edad de las muestras | 22 |
| 5.1.1 Muestras R-1134-16 a R-1134-15.                 | 22 |
| 5.1.2 Muestras R-1134-14 a R-1134-7.                  | 22 |
| 5.1.3 Muestras R-1134-6 a R-1134-4.                   | 22 |
| 5.1.4 Muestras R-1134-3 a R-1134-2.                   | 23 |
| 5.2 Paleoecología                                     | 23 |
| 5.2.1 Fase 1.   | 27 |

| 5.2.2 Fase 2.   | 27 |
|---|----|
| 5.2.3 Fase 3.   | 27 |
| 5.3 Paleoprovincialismo de las asociaciones de dinoflagelados del pozo<br>ALO-1 | 28 |
| 5.4 implicaciones para la reconstrucción del clima del paleógeno                | 30 |
| 6. Conclusiones   | 34 |
| 7. Recomendaciones  | 36 |
| Bibliografía  | 37 |
| Apéndice 1  | 46 |
| Apéndice 2  | 55 |

# LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Table 1. Desultados del contos de polinemerfos terrestros y marines en   |      |
| el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1   | 11   |
| Tabla 2 Resultados del conteo de dinoflagelados en el intervalo Paleo-<br>ceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1 | 14   |
| Tabla 3 Interpretación paleoecológica de los grupos de dinoflagelados<br>obtenidos a partir del análisis clúster       | 21   |

# LISTA DE FIGURAS

|  | ⊃ág.    |
|--|---------|
| Figura 1 Localización del pozo ALO-1 y ubicación de las muestras pali-<br>nológicas en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior   | 5       |
| Figura 2 Distribución cuantitativa de palinomorfos marinos y palinomorfos terrestres en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1   | ;<br>12 |
| Figura 3 Distribución cuantitativa de algunos grupos de dinoflagelados<br>en el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano del pozo ALO-1  | 18      |
| Figura 4 Agrupación de especies de dinoflagelados, a partir de un aná-<br>lisis clúster de varianza mínima   | 20      |
| Figura 5 Distribución cuantitativa de especies de afinidad, tropical,<br>subtropical, temperada y <i>Apectodinium spp.,</i> en el intervalo Paleoceno-<br>Eoceno Temprano del pozo ALO-1, Nigeria    | 26      |
| Figura 6 Predicciones acerca del gradiente de temperatura latitudinal<br>superficial para un incremento en la concentración de CO <sub>2</sub> y un<br>incremento en el transporte de calor oceánico | 32      |

# LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Distribución estratigráfica de los dinoflagelados en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, Nigeria

## RESUMEN

**TITULO:** DINOFLAGELADOS DEL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO INFERIOR DE NIGERIA: IMPLICACIONES PALEOCLIMATICAS<sup>\*</sup>

Autor: HERNAN JAVIER ANTOLINEZ DELGADO\*\*

Palabras clave: Dinoflagelados, Paleoceno-Eoceno, Nigeria.

En este estudio se examinó material palinológico del intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, localizado en la cuenca de Anambra, sureste de Nigeria. Se analizó el contenido de dinoflagelados de quince muestras y se contaron 300 dinoflagelados por placa. Los datos cuantitativos se analizaron mediante un análisis clúster que permitió identificar agrupaciones de especies. Los grupos identificados parecen estar controlados principalmente por variaciones en la temperatura oceánica superficial o gradiente latitudinal.

El Paleoceno Tardío, se caracteriza por asociaciones estables con altos porcentajes de dinoflagelados endémicos tropicales pertenecientes principalmente al género *lfecysta*. Por el contrario, el intervalo Paleoceno más alto-Eoceno Temprano se caracteriza por la presencia de taxa afines con la zona del Mediterráneo: *Apectodinium* spp., dominan las asociaciones de dinoflagelados durante el intervalo Paleoceno mas alto-Eoceno mas bajo, indicando condiciones de alta productividad y *Polysphaeridium* spp. y *Adnatosphaeridium* spp., ocurren en altos porcentajes durante el Eoceno Temprano.

Los cambios observados podrían indicar principalmente variaciones en el gradiente de temperatura latitudinal durante el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano. El Paleoceno Tardío indica condiciones de alto gradiente latitudinal que favorecieron el alto endemismo de las asociaciones de dinoflagelados y el Paleoceno mas alto-Eoceno Temprano indica un gradiente latitudinal menos pronunciado que permitió la migración de especies entre latitudes. Los resultados de este estudio favorecen modelos paleoclimáticos que no implican altas concentraciones de CO<sub>2</sub> durante el Eoceno Temprano.

<sup>&</sup>lt;sup>\*</sup> Trabajo de Grado modalidad investigación

<sup>&</sup>lt;sup>\*\*</sup> Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Directores Marco Alvarez y Carlos Jaramillo

# ABSTRACT

# **TITLE:** UPPER PALEOCENE-LOWER EOCENE DINOFLAGELLATES OF NIGERIA: PALEOCLIMATIC IMPLICATIONS<sup>\*</sup>

Author: HERNAN JAVIER ANTOLINEZ-DELGADO\*\*

Keywords: Dinoflagellates, Paleocene-Eocene, Nigeria.

Dinoflagellate cysts from the upper Paleocene-lower Eocene interval of ALO-1 Well, located in the Anambra basin, southeastern Nigeria were examined. Fifteen palynologic slides were analyzed and three hundred dinocysts were counted per slide. Quantitative data was analyzed by using cluster analyses, which allowed grouping of taxa. These groups seem to be controlled mainly by variations in the latitudinal gradient of sea-surface temperature.

The Late Paleocene is characterized by stable assemblages with high percentages of endemic tropical dinoflagellates, mainly *lfecysta* spp. In contrast, the latest Paleocene to early Eocene dinoflagellate assemblages are more similar to those of the Mediterranean area. During the latest Paleocene to earliest Eocene the dinoflagellate cyst assemblages are dominated by *Apectodinium* spp., indicating high productivity conditions. During the early Eocene the assemblages are dominated by *Polysphaeridium* spp. and *Adnatosphaeridium* spp.

The assemblage changes may be controlled by variations of the gradient in sea-surface temperature across the late Paleocene to early Eocene interval. The late Paleocene seems to have a high latitudinal gradient that enhanced the level of endemism in tropical waters. In contrast, during the latest Paleocene and early Eocene the latitudinal gradient was much lower allowing dinocysts migrations across latitudes. This result favors climatic models for the Early Eocene that do not involve high  $CO_2$  concentrations.

<sup>&</sup>lt;sup>\*</sup> Undergraduate thesis

<sup>&</sup>lt;sup>\*\*</sup> Faculty of Physicochemical Engineering, Geology Department, Universidad Industrial de Santander. Advisors: Marco Alvarez & Carlos Jaramillo

#### INTRODUCCION

El intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano (~59 a 50 Ma), es un período de tiempo único en la historia terrestre, ya que está asociado con importantes perturbaciones en el ciclo del Carbono y el clima global, registra las máximas temperaturas de los últimos 65 millones de años y es reconocido como un punto crítico en la reorganización de la biosfera durante el Cenozoico (Berggren *et al.*, 1998), sin embargo, mientras la magnitud de estos eventos está bien documentada en altas latitudes de ambos hemisferios, su ocurrencia en latitudes tropicales es prácticamente desconocida.

Para contribuir a resolver este problema, en este estudio se examinan dinoflagelados. Los dinoflagelados son organismos unicelulares marinos con un estado móvil en su ciclo de vida y un estado no móvil que es potencialmente fosilizable (Evitt, 1985), constituyen un componente esencial del fitoplancton marino y juegan un papel crucial en el suministro de Oxígeno del planeta (Dale, 1996). Los dinoflagelados son sensibles a variaciones en la temperatura oceánica superficial, la salinidad y la disponibilidad de nutrientes (Wall *et al.*, 1977; Dale, 1996), además, su registro fósil es abundante y diverso, especialmente durante el Paleógeno, por lo que se han utilizado ampliamente para la realización de estudios bioestratigráficos y paleoambientales (Stover *et al.*, 1996).

Un mejor conocimiento de las asociaciones tropicales de dinoflagelados durante la transición Paleoceno-Eoceno, es necesario para mejorar el

entendimiento de la dinámica del cambio climático global en períodos de intenso calentamiento y perturbación del ciclo del Carbono, ya que permite identificar patrones de migración de especies en respuesta a temperaturas oceánicas cambiantes y detectar cambios en la productividad primaria del océano.

Con el fin de mejorar el conocimiento de las asociaciones tropicales de dinoflagelados durante el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano, en este estudio se examina material palinológico del intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, localizado en la cuenca de Anambra, sureste de Nigeria. Se registra información cualitativa y cuantitativa de las asociaciones de dinoflagelados, los resultados se interpretan en términos paleoecológicos y se discuten sus implicaciones para la reconstrucción del clima del Paleógeno. Los resultados de aquí derivados podrían ser también eventualmente útiles para mejorar la bioestratigrafía del intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano en zonas tropicales.

# **1. OBJETIVOS**

# **1.1 OBJETIVO GENERAL**

 Interpretar paleoecológicamente la distribución estratigráfica de los dinoflagelados encontrados.

# **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Reconocer taxonómicamente las especies de dinoflagelados presentes en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1 (Nigeria).
- Registrar la abundancia y distribución estratigráfica de los dinoflagelados en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1.

#### 2. MATERIALES

El material para el estudio palinológico se tomó de muestras de ripio del intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, a intervalos de 54 metros (Figura 1). El pozo ALO-1 fue perforado por **Shell Petroleum** en 1976 en la cuenca de Anambra, sureste de Nigeria. La profundidad total del pozo fue de 2663 metros y de acuerdo con un control bioestratigráfico interno (basado en polen-esporas y foraminíferos) realizado por **Shell Petroleum** durante su perforación, los primeros 800 metros aproximadamente corresponden al intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior.

El intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, está representado por shales negros y arcillas azul grisáceas intercaladas con areniscas calcáreas, margas y lodolitas de la Formación Imo. Este intervalo no presenta hiatos mayores ni complicaciones estructurales y exhibe un recobro de palinomorfos excelente<sup>\*</sup>. De acuerdo con la litología y la asociación de fósiles traza, se ha interpretado para la Formación Imo un ambiente de depositación de frente deltáico (Anyanwu and Arua, 1990).

<sup>\*</sup> E-mail de Francisca Oboh-Ikuenobe, profesor asociado, Universidad de Missouri-Rolla, Diciembre de 2003.

Figura 1. Localización del pozo ALO-1 y ubicación de las muestras palinológicas en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior





## 3. METODOS

Las muestras palinológicas se prepararon en el laboratorio Global Geolab de Canadá, mediante la técnica estándar de sumergir los sedimentos en HCL y HF para eliminar carbonatos y silicatos hasta obtener la fracción orgánica de la muestra (Traverse, 1988). Quince placas palinológicas fueron analizadas en el Laboratorio de Bioestratigrafía del Instituto Colombiano del Petróleo de Ecopetrol, utilizando un microscopio de luz transmitida Zeiss Axioskop (Ref: EL-Einsatz 45 14 85). En el Apéndice 1 se ilustran a manera de Láminas algunos de los taxa más representativos en este estudio. Las fotografías fueron tomadas con una cámara digital Nikon Coolpix 4500 en un microscopio Zeiss Axioskop 2 Plus (Ref: 1116-576) con Contraste de Interferencia Diferencial (DIC) y digitalmente tratadas utilizando Adobe Photoshop 7.0 en un IBM ThinkPad PC Pentium III. Para cada taxa ilustrado, se proporcionan el número de la placa y las coordenadas X y Y del microscopio Zeiss Axioskop EL-Einsatz 45 14 85.

## 3.1 ANALISIS DE LAS PLACAS PALINOLOGICAS

El análisis de las muestras palinológicas se desarrolló en tres fases: la primera fase, incluyó un barrido general de las placas palinológicas utilizando un objetivo de 20x, con el fin de localizar e identificar diferentes morfotipos de dinoflagelados. Cada morfotipo identificado se reconoció taxonómicamente bajo un objetivo de inmersión en aceite de 100x.

En la segunda fase, se contaron hasta 300 dinoflagelados por placa cuando fue posible, con el propósito de registrar la abundancia de cada morfotipo. Al completar los 300 granos contados, para cada muestra se realizó un barrido de la porción de la placa restante con el fin de identificar formas adicionales no registradas inicialmente.

El conteo de 300 granos permite obtener un estimativo estadísticamente confiable de las proporciones reales de las especies en la muestra (Hayek & Buzas, 1997). En las muestras en las que no fue posible contar 300 granos, se contaron al menos 169 individuos. Este conteo mínimo se estableció para obtener una medida que representara un estimado de las proporciones reales de la muestra con un intervalo de confianza de 5% y un nivel de confianza del 95%. Para calcular este valor mínimo se usó el software **Sample Size Calculator** (Creative Research Systems, 2004).

Adicionalmente se contaron al menos 100 palinomorfos (polen, esporas, dinoflagelados y acritarcos) por placa, con el fin de identificar cambios en la posición de la línea de costa (reflejados por cambios en la abundancia de palinomorfos terrestres y palinomorfos marinos) y determinar su influencia en la distribución cuantitativa de los dinoflagelados. Se calculó la proporción de palinomorfos terrestres (polen y esporas) *versus* el total de palinomorfos contados.

Los datos cuantitativos se calcularon como un porcentaje del conteo total y se discuten con referencia a las siguientes categorías de porcentaje: muy raro (<1%), raro (1-5%), común (6-10%), frecuente (11-20%), abundante (21-40%) y superabundante (>40%).

La tercera fase comprendió la asignación taxonómica a los morfotipos de dinoflagelados. En general, los dinoflagelados identificables fueron asignados a nivel específico y cuando esto no fue posible (por ejemplo; debido a mala preservación o complejidad morfológica) fueron designados a nivel de género o designados como dinoflagelados indeterminados. Las asignaciones específicas se realizaron a través de comparaciones morfológicas con ilustraciones de diferentes publicaciones y cuando fue posible, a través de la consulta de las descripciones originales de cada especie. Las especies aquí registradas, no reportadas en la literatura disponible se designaron utilizando nomenclatura abierta (por ejemplo: *Apectodinium* sp. A); una descripción de estas especies se proporciona en el Apéndice 2. La terminología morfológica adoptada fue la propuesta por Evitt (1985) y la taxonomía sigue la propuesta por Williams *et al.* (1998).

#### 3.2 TRATAMIENTO ESTADISTICO

La distribución de los dinoflagelados se analizó mediante un análisis clúster, utilizando el paquete estadístico PAST (Hammer *et al.*, 2001), con el fin de identificar agrupaciones de especies que pudieran ser interpretadas paleoecológicamente. El tipo de clúster utilizado fue el de varianza mínima, que toma en cuenta abundancias absolutas y que generalmente produce clusters bien diferenciados (Kovach, 1989). En este método, el criterio utilizado para determinar la similitud entre objetos es la dispersión dentro del grupo de datos, definida como la suma de las distancias al cuadrado entre cada objeto y el centroide. Entre mayor dispersión introduzca un objeto al grupo, menor es la posibilidad de que el objeto se añada a este (Pielou, 1984).

Los datos de abundancia introducidos en el análisis clúster, fueron previamente transformados a datos logarítmicos mediante la fórmula del logaritmo natural (base e):

# y=ln(x+1)

siguiendo la recomendación de Kovach (1989), con el fin de obtener mayor resolución en la agrupación de especies con bajas abundancias.

## 4. RESULTADOS

Se registró una preservación excelente de los palinomorfos en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, con abundantes especímenes de polen, esporas y dinoflagelados, sin embargo, en este estudio se examinó solamente el contenido de dinoflagelados.

Se determinaron 41 especies de dinoflagelados, 4 grupos fueron designados a nivel de género y se contaron 3667 dinoflagelados en las quince placas. El conteo mínimo de 169 dinoflagelados se alcanzó en las once placas más superiores (R-1134-2 a R-1134-12) y en la placa R-1134-14. En las placas restantes (R-1134-13, R-1134-15 y R-1134-16) no se alcanzó este conteo mínimo establecido, por lo que sus resultados no se incluyeron en el análisis cuantitativo.

La influencia continental disminuye desde la parte inferior del intervalo examinado, en donde se presentan los mayores porcentajes de palinomorfos terrestres (Tabla 1; Figura 2).

Profundidad Muestra Palinomorfos Palinomorfos terrestres (t) (m) marinos (m) R-1134-2 R-1134-3 R-1134-4 R-1134-5 R-1134-6 R-1134-7 

R-1134-8

R-1134-9

R-1134-10

R-1134-11

R-1134-12

R-1134-13

R-1134-14

R-1134-15

R-1134-16

Tabla 1. Resultados del conteo de palinomorfos terrestres y marinos en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1

Distribución cuantitativa de palinomorfos marinos (m) y palinomorfos terrestres (t) en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1. También se muestran los intervalos de confianza para cada una de las muestras con un nivel de confianza del 95% (líneas rojas) Figura 2.



## 4.1 DISTRIBUCION ESTRATIGRAFICA DE LOS DINOFLAGELADOS

Debido a que las muestras palinológicas provienen de ripios de perforación, las consideraciones realizadas acerca de las primeras apariciones de los dinoflagelados en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1, deben tomarse con precaución. La carta de distribución estratigráfica de los dinoflagelados se presenta en el Anexo 1 y la totalidad de los datos se presenta en la Tabla 2.

*Diphyes* sp. 1, se registra únicamente en la parte más inferior del intervalo examinado entre 810 y ~ 750 m de profundidad (muestras R-1134-16 y R-1134-15). *Palaeocystodinium* sp. A., *Spinidinium* sp., *Impagidinium* sp. y *Areoligera* cf. *senonensis* entre 540 y 430 m (muestras R-1134-11 a R-1134-9). *Leptodinium* sp. y *Apectodinium* sp. B., ocurren solamente en la muestra R-1134-8 a 378 metros de profundidad. *Ifecysta* sp. A., *Areosphaeridium? diktioplokum, Hystrichokolpoma rigaudeae, Hystrichosphaeridium* sp. y *Fibrocysta bipolaris*, ocurren solamente en las muestras superiores (216 a 54 m); *Wilsodinium* sp., está presente tan sólo en el intervalo entre 270 y 162 metros; *Glaphyrocysta ordinata, Cordosphaeridium* sp. cf. *fibrospinosum* y *Kallosphaeridium orchiesense*, sólo ocurren en la muestra R-1134-3 (108 m) y *Apectodinium* sp. A., y *Leptodinium* sp. A., en la muestra R-1134-2 (54 m).

| Profundidad (m)                               | 54  | 108 | 162 | 216 | 270 | 324 | 378 | 432 | 486 | 540 | 594 | 648 | 702 | 756 | 810 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Muestra R-1134-                               | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1. Spiniferites spp.                          | 108 | 32  | 118 | 28  | 23  | 13  | 13  | 39  | 89  | 49  | 27  | 3   | 22  | 29  | 32  |
| 2. Spiniferites ramosus                       | 6   | 7   | 29  | 11  | 8   | 9   | 8   | 29  | 33  | 5   | 6   | 0   | 11  | 5   | 0   |
| 3. Ifecysta pachyderma                        | 1   | 43  | 18  | 3   | 31  | 48  | 197 | 77  | 58  | 123 | 83  | 4   | 80  | 32  | 54  |
| 4. Ifecysta pachyderma var. fibrosa           | 1   | 2   | 9   | 4   | 79  | 43  | 18  | 23  | 31  | 45  | 9   | 1   | 14  | 8   | 20  |
| 5. <i>Ifecysta</i> sp. A                      | 1   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 6. Adnatosphaeridium multispinosum            | 6   | 39  | 7   | 7   | 5   | 1   | 3   | 4   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 7. Adnatosphaeridium membraniphorum           | 1   | 26  | 9   | 0   | 1   | 0   | 0   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 8. Glaphyrocysta divaricata                   | 1   | 3   | 2   | 0   | 2   | 0   | 0   | 3   | 10  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 9. Areosphaeridium? diktioplokum              | 3   | 6   | 5   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 10. Glaphyrocysta ordinata                    | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 11. Kallosphaeridium orchiesense              | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 12. Diphyes spinula                           | 3   | 3   | 1   | 6   | 4   | 4   | 2   | 5   | 2   | 4   | 6   | 0   | 0   | 4   | 2   |
| 13. Leiosphaeridia spp.                       | 14  | 36  | 47  | 37  | 24  | 19  | 17  | 23  | 14  | 11  | 11  | 1   | 7   | 4   | 0   |
| 14. Sentusidinium? sp.                        | 1   | 0   | 0   | 5   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 6   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   |
| 15. Palaeocystodinium golzowense              | 4   | 1   | 2   | 1   | 0   | 0   | 1   | 9   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 16. Kallosphaeridium nigeriense               | 1   | 1   | 7   | 1   | 4   | 1   | 3   | 4   | 2   | 7   | 2   | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 17. Polysphaeridium spp.                      | 139 | 5   | 1   | 2   | 3   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 18. Histrichokolpoma rigaudeae                | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 19. Areoligera spp.                           | 0   | 3   | 3   | 5   | 1   | 0   | 1   | 6   | 6   | 6   | 6   | 0   | 2   | 1   | 1   |
| 20. Cordosphaeridium sp. cf. C. gracilis      | 0   | 52  | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   | 4   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 21. Cordosphaeridium sp. cf. C. fibrospinosum | 0   | 19  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 22. Cleistosphaeridium heteracanthum          | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 7   | 5   | 2   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 23. Cleistosphaeridium sp.                    | 0   | 1   | 6   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 24. Hystrichosphaeridium sp.                  | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 25. Diphyes colligerum                        | 0   | 1   | 2   | 0   | 0   | 2   | 1   | 1   | 4   | 3   | 4   | 0   | 2   | 0   | 0   |
| 26. Apectodinium spp.                         | 0   | 7   | 47  | 185 | 68  | 5   | 27  | 24  | 4   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |

Tabla 2. Resultados del conteo de dinoflagelados en el intervalo Paleoceno superior-Eoceno inferior del pozo ALO-1

|  | /   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 27. Wilsodinium sp.                    | 0   | 0   | 2   | 9   | 5   | 0   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 28. Apectodinium sp. A                 | 0   | 7   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 29. Hystrichokolpoma sp. A             | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 1   | 2   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 30. Apteodinium spp.                   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   | 0   | 0   | 0  | 0   | 3   | 0   |
| 31. Pterodinium? sp.                   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   | 3   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 32. Eocladopyxis sp. cf. E. peniculata | 0   | 14  | 15  | 25  | 11  | 11  | 1   | 12  | 1   | 4   | 2   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 33. Fibrocysta bipolaris               | 0   | 2   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 34. <i>Leptodinium</i> sp. A           | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 35. Operculodinium sp.1                | 0   | 0   | 2   | 0   | 4   | 0   | 0   | 6   | 15  | 14  | 1   | 0  | 0   | 1   | 0   |
| 36. Lanternosphaeridium lanosum        | 0   | 0   | 8   | 7   | 16  | 5   | 0   | 0   | 4   | 4   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 37. Phelodinium sp.                    | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 2   |
| 38. Operculodinium sp.2                | 0   | 0   | 2   | 0   | 3   | 27  | 12  | 11  | 0   | 0   | 2   | 0  | 0   | 0   | 3   |
| 39. <i>Leptodinium</i> sp.             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 40. Apectodinium sp. B                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 41. Palaeocystodinium sp. A            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 42. Spinidinium sp.                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 43. Areoligera cf. senonensis          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   | 2   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 44. Impagidinium sp.                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 6   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 45. Quistes no identificados           | 6   | 5   | 9   | 4   | 2   | 1   | 0   | 1   | 3   | 0   | 14  | 2  | 28  | 19  | 14  |
| 46. Diphyes sp. 1                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 3   | 6   |
|  |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |
| Total Conteo                           | 302 | 329 | 358 | 345 | 300 | 192 | 317 | 302 | 308 | 294 | 174 | 12 | 173 | 111 | 135 |

Tabla 2. Resultados del conteo de dinoflagelados en el intervalo Paleoceno superior-Eoceno inferior del pozo ALO-1

#### 4.2 DISTRIBUCION CUANTITATIVA DE LOS DINOFLAGELADOS

Unos pocos grupos de taxa relacionados morfológicamente dominan generalmente las asociaciones de dinoflagelados y sumados constituyen comúnmente más del 80% del conteo total en cada una de las muestras (Figura 3). Estos grupos morfológicos son: (1) Adnatosphaeridium spp., que incluye especies de A. multispinosum y A. membraniphorum, (2) Grupo Apectodinium, que reúne principalmente especies de la serie morfológica A. homomorphum-A. hyperacanthum Wilsodinium y sp., (3) Grupo Cordosphaeridium, que reúne especies de los géneros Cordosphaeridium, Lanternosphaeridium y Fibrocysta, (4) Ifecysta spp., (5) Leiosphaeridia spp., (6) Polysphaeridium spp., (principalmente P. subtile) y (7) Spiniferites spp., que reune especies de los géneros Spiniferites y Hafniasphaera.

La distribución cuantitativa de los dinoflagelados muestra un intervalo de superabundancia (>40%) de *lfecysta* spp. (Muestras R-1134-16 a R-1134-11, 810 a 540 m), seguido por picos sucesivos de superabundancia de *Spiniferites* spp. (muestra R-1134-10, ~480 m), *lfecysta spp.* (Muestra R-1134-8, ~380 m), *Apectodinium* spp. (Muestra R-1134-5, ~220 m) y *Spiniferites* spp. (muestra R-1134-4, ~160 m). En la muestra R-1134-3 (~110 m), *Adnatosphaeridium* spp. y *Cordosphaeridium* spp., son abundantes (20 y 22%, respectivamente) y en la muestra R-1134-2 (54 m) *Polysphaeridium* spp., es superabundante (46%) y domina la asociación.

Adnatosphaeridium spp., Cordosphaeridium spp. y Polysphaeridium spp., sólo están presentes en porcentajes considerables (>15%) en la parte más superior del pozo (54 a 108 m) y su presencia es rara en el resto del intervalo

estudiado. *Leiosphaeridia* spp., es frecuente en la mayoría de las muestras y *Eocladopyxis* cf. *peniculata* es un componente común en algunas de las muestras y su presencia es consistente durante todo el intervalo estudiado.

Dinoflagelados de ocurrencia rara o muy rara (< 5%) durante la mayor parte del intervalo examinado son *Glaphyrocysta divaricata, Phelodinium* sp., *Lanternosphaeridium lanosum, Diphyes* spp., *Palaeocystodinium golzowenze, Sentusidinium*? sp., *Kallosphaeridium nigeriense, Areoligera* spp., *Cleistosphaeridium* spp., *Hystrichokolpoma* sp. A., *Apteodinium* spp., *Pterodinium*? sp. y Operculodinium spp.

Eoceno Temprano del pozo ALO-1. El punto rojo señala las muestras con conteos inferiores a 169 individuos Distribución cuantitativa de algunos grupos de dinoflagelados en el intervalo Paleoceno Tardío-Figura 3.



## 4.3 ANALISIS ESTADISTICO

Los resultados del análisis clúster se muestran en la Figura 4, los números asignados a las especies son los que se muestran en la Tabla 2. Utilizando como valor de similaridad -10, el análisis permitió diferenciar 5 clusters o agrupaciones de especies:

- Grupo 1. Ifecysta pachyderma, I. pachyderma var. fibrosa, Spiniferites spp., Spiniferites ramosus, Leiosphaeridia spp.

Glaphyrocysta ordinata, Kallosphaeridium orchiesense, Grupo 2. Phelodinium sp., Leptodinium sp., Diphyes sp. 1, Apectodinium sp. B, Apectodinium A, Hystrichokolpoma A, sp. SD. Cordosphaeridium fibrospinosum, lfecysta sp. Α, Hystrichokolpoma rigaudeae, *Hystrichosphaeridium* sp., Leptodinium sp. A, Fibrocysta bipolaris, Cleistosphaeridium heteracanthum, Palaeocystodinium golzowenze, Palaeocystodinium sp. A, Areoligera cf. senonensis, Pterodinium sp., Apteodinium spp., Spinidinium sp., Impagidinium sp., Glaphyrocysta divaricata, Cleistosphaeridium sp.

- Grupo3. Polysphaeridium spp., Areosphaeridium? diktioplokum, Adnatosphaeridium membraniphorum, Cordosphaeridium cf. gracile.

- Grupo 4. Apectodinium spp., Adnatosphaeridium multispinosum, Eocladopyxis cf. peniculata.

- Grupo 5. Operculodinium spp., Diphyes colligerum, Kallosphaeridium nigeriense, Areoligera spp., Diphyes spinula, Wilsodinium sp., Lanternosphaeridium lanosum, Sentusidinium sp.

Figura 4. Agrupación de especies de dinoflagelados, a partir de un análisis clúster de varianza mínima



Para dar una interpretación paleoecológica a las agrupaciones de dinoflagelados obtenidas a partir del análisis clúster, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura. Las especies o grupos con mayores abundancias, así como aquellas de reconocida importancia o con mayor potencial como indicadores de condiciones paleoambientales se muestran en la Tabla 3.

 Tabla 3.
 Interpretación paleoecológica de los grupos de dinoflagelados

 obtenidos a partir del análisis clúster

| Grupo | Especies   | Afinidad latitudinal                | Referencias   |
|-------|--|-------------------------------------|---|
| 1     | I. pachyderma<br>I. pachyderma var. Fibrosa<br>Spiniferites ramosus  | Afinidad tropical principalmente.   | Wall <i>et al</i> ., 1977;<br>Jan du Chêne &<br>Adediran, 1984.   |
| 2     | G. ordinata, K. orchiesense,<br>Phelodinium sp., Diphyes sp.<br>1, Apectodinium sp. A,<br>Hystrichokolpoma spp.,<br>Cordosphaeridium<br>fibrospinosum, Ifecysta sp. A<br>F. bipolaris, P. golzowenze,<br>Palaeocystodinium sp. A, A.<br>cf. senonensis, Pterodinium<br>sp., Apteodinium spp.,<br>Spinidinium sp. Impagidinium<br>sp., G. divaricata,<br>Cleistosphaeridium sp. | Afinidad temperada a<br>subtropical | Davey <i>et al.</i> , 1966;<br>Jan du Chêne &<br>Adediran, 1984;<br>Powell <i>et al.</i> ,<br>1996; Oboh-<br>Ikuenobe <i>et al.</i> ,<br>1998;Yepes,<br>2001; Iakovleva <i>et al.</i> ,<br>2001; Crouch,<br>2001. |
| 3     | Polysphaeridium spp.,<br>Areosphaeridium<br>diktioplokum, A.<br>membraniphorum,<br>Cordosphaeridium sp. cf.<br>gracile.  | Afinidad subtropical a<br>tropical  | Wall <i>et al</i> .,<br>1977;Jan du<br>Chêne &<br>Adediran, 1984;<br>Brinkhuis <i>et al</i> .,<br>1994; Crouch,<br>2001.  |
| 4     | Apectodinium spp.,<br>Adnatosphaeridium<br>multispinosum, Eocladopyxis<br>cf. peniculata.  | Afinidad subtropical a tropical     | Jan du Chêne &<br>Adediran, 1984;<br>Bujak & Brinkhuis,<br>1998; Crouch,<br>2001.   |
| 5     | Operculodinium spp.,<br>Diphyes spp,<br>Kallosphaeridium nigeriense,<br>Areoligera spp., Wilsodinium<br>sp., Lanternosphaeridium<br>lanosum.   | Afinidad temperada a subtropical    | Jan du Chêne &<br>Adediran, 1984;<br>Powell <i>et al</i> .,<br>1996; Crouch,<br>2001.   |

La Tabla 3 muestra que los resultados del análisis clúster son consistentes con los datos obtenidos en la literatura, especies de preferencias similares en cuanto a temperaturas oceánicas superficiales tienden a aparecer en el mismo clúster.

#### 5. DISCUSION

#### 5.1 CONSIDERACIONES ACERCA DE LA EDAD DE LAS MUESTRAS

**5.1.1 Muestras R-1134-16 a R-1134-15 (810-756 m).** *Diphyes* sp. 1, ha sido reportado previamente en sedimentos del Daniano de Senegal por Jan du Chêne (1987). Sin embargo, Jan du Chêne no proporcionó cartas estratigráficas que mostraran la distribución de *Diphyes* sp. 1 y otras especies en la Formación Madeleines del Daniano de Senegal. Teniendo en cuenta esto, se asigna a este intervalo una edad tentativa Paleoceno Temprano.

**5.1.2 Muestras R-1134-14 a R-1134-7 (~756-270 m).** Asignar una edad a esta porción del pozo ALO-1 es complicado por la ausencia de especies de dinoflagelados o eventos en las asociaciones de dinoflagelados con relevancia bioestratigráfica. Sin embargo, teniendo en cuenta las edades asignadas a los intervalos subyacente y suprayacente a este, se considera para esta porción del pozo ALO-1 una edad Paleoceno Tardío.

**5.1.3 Muestras R-1134-6 a R-1134-4 (~270-160 m).** La ocurrencia de un intervalo con altos porcentajes de *Apectodinium* en el pozo ALO-1 (Figura 3), es consistente con la ocurrencia sincrónica de intervalos similares en zonas localizadas en latitudes intermedias como la Costa del Golfo E.U.A. (Harrington and Kemp, 2001), España (Caro, 1973), Tunisia (Bujak &

Brinkhuis, 1998; Crouch, 2001), Pakistán (Köthe, 1988) y Egipto (Brinkhuis *et al.*, 1994).

Los estudios con la mejor calibración acerca de la distribución de *Apectodinium* en latitudes intermedias provienen de la zona del Tethys. De acuerdo con Crouch *et al.* (2003), el intervalo de *Apectodinium* frecuente a superabundante comienza en la parte superior de la zona de nanoplancton calcáreo NP7 (~57,4 Ma, Paleoceno Tardío) y se prolonga hasta la mitad de la zona NP10 (~54,5 Ma, Eoceno Temprano). El comienzo de este intervalo puede ser un poco más antiguo en latitudes tropicales, por el marcado aspecto latitudinal que presenta este evento (Bujak & Brinkhuis, 1998). De acuerdo con esto, se asigna a este intervalo una edad Paleoceno más Tardío (Thanetiano)-Eoceno más Temprano.

**5.1.4 Muestras R-1134-3 a R-1134-2 (~160-54 m).** Con base en la asociación de especies como *Polysphaeridium subtile, Areosphaeridium? diktioplokum, Hystrichokolpoma rigaudeae, Glaphyrocysta ordinata, Adnatosphaeridium membraniphorum* se asigna a este intervalo una edad Eoceno Temprano (Ypresiano). Estas especies conforman asociaciones de dinoflagelados típicas del Eoceno en diversas regiones del planeta (Williams & Bujak, 1985).

## 5.2 PALEOECOLOGIA

Análisis realizados en dinoflagelados Recientes, indican que la temperatura oceánica superficial (variación latitudinal), la productividad y la composición

de la masa de agua (afinidad nerítica/oceánica y salinidad principalmente), son los principales factores que controlan la distribución de los dinoflagelados en los mares actuales (Wall *et al.*, 1977; Dale, 1996). Los cambios observados en las asociaciones de dinoflagelados fósiles pueden ser por lo tanto utilizados para inferir cambios en la temperatura oceánica superficial, la posición relativa de la línea de costa y la disponibilidad de nutrientes (Dale, 1996; Stover *et al.*, 1996).

La relación entre las proporciones de palinomorfos terrestres y marinos en el pozo ALO-1 (Figura 2; Tabla 1), permite observar una tendencia de disminución de la influencia nerítica desde la parte inferior del intervalo examinado hasta su parte superior. Sin embargo, teniendo en cuenta que la distribución cuantitativa de *Spiniferites* spp. (Figura 3), un grupo cuyos cambios de abundancia son comúnmente utilizados para inferir cambios en la posición relativa de la línea de costa (Powell *et al.*, 1996; Crouch, 2001), no exhibe la misma tendencia, se considera que los cambios observados en la distribución y abundancia de los dinoflagelados en el pozo ALO-1, deben obedecer principalmente a cambios en la temperatura oceánica superficial y la productividad y se discuten en estos términos, aunque indicaciones de cambios en la posición relativa de la línea de costa deben estar presentes dentro de las asociaciones de dinoflagelados.

Para obtener información acerca de cambios en la temperatura oceánica superficial y la disponibilidad de nutrientes a partir de las asociaciones de dinoflagelados examinadas, los conteos se recalcularon teniendo en cuenta únicamente las especies mostradas en la Tabla 3. Los resultados se ilustran en la Figura 5, agrupados así: dinoflagelados de afinidad tropical (Grupo 1), dinoflagelados de afinidad subtropical (Grupos 3 y 4, sin *Apectodinium* spp.)
y dinoflagelados de afinidad temperada (Grupos 2 y 5). *Apectodinium* spp., se graficó separadamente por ser un grupo de reconocida importancia como indicador de ambientes con alta productividad primaria (Bujak & Brinkhuis, 1998; Crouch *et al.*, 2001).

Figura 5. Distribución cuantitativa de especies de afinidad, tropical, subtropical, temperada y Apectodinium spp., en el intervalo Paleoceno-Eoceno Temprano del pozo ALO-1, Nigeria



Un análisis de los datos ilustrados en la Figura 5, permite diferenciar tres fases en la distribución de los dinoflagelados:

**5.2.1 Fase 1.** Esta fase comprende la parte inferior del intervalo examinado ~ 700 a 270 m (muestras R-1134-14 a R-1134-7) y se caracteriza por la presencia de altos porcentajes de dinoflagelados de afinidad tropical ~ 50 a 80 % (Figura 5), pertenecientes principalmente al género *lfecysta* Jan du Chêne & Adediran (1984), que parece ser endémico de zonas tropicales. Los representantes de este género presentan una variada morfología que no había sido reportada previamente en la literatura.

Durante esta fase, los dinoflagelados de afinidad subtropical son muy raros a comunes (0-10%) y los de zonas temperadas son frecuentes (>10%).

**5.2.2 Fase 2.** Esta fase comprende el intervalo entre ~ 270 y 160 m (muestras R-1134-6 a R-1134-4). La principal característica de esta fase la constituye la ocurrencia frecuente a superabundante de *Apectodinium* spp. (Figuras 3 y 5). El porcentaje de dinoflagelados endémicos es bajo durante esta fase (~7%) y las proporciones de los grupos de afinidad subtropical y temperada no varían considerablemente, con respecto a la Fase 1.

**5.2.3 Fase 3.** Esta fase se registra en la parte más superior del intervalo examinado ~ 160 a 54 m (muestras R-1134-3 a R-1134-2) y se caracteriza por la presencia superabundante (~60 a 90%) de dinoflagelados de afinidad subtropical (Figura 5, Tabla 3). Los porcentajes de dinoflagelados de afinidad tropical y temperada son frecuentes durante esta fase.

# 5.3 PALEOPROVINCIALISMO DE LAS ASOCIACIONES DE DINOFLAGELADOS DEL POZO ALO-1

El patrón de distribución de los dinoflagelados en el pozo ALO-1, puede indicar cambios en el provincialismo, que es un reflejo de la diferenciación climática (gradiente de temperatura latitudinal) entre el trópico y las zonas polares (Stover *et al.*, 1996). El provincialismo se trata aquí como la diferenciación latitudinal entre las asociaciones de dinoflagelados, que puede medirse tanto en términos cuantitativos como en términos cualitativos y ya sea a nivel genérico o específico (Stover *et al.*, *op. cit*).

En general, las asociaciones de dinoflagelados registradas en el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano del pozo ALO-1, indican un alto nivel de provincialismo para esta época, ya que difieren considerablemente de asociaciones contemporáneas de dinoflagelados en otras partes como Europa noroccidental (por ejemplo: Powell *et al.*, 1996), el Mar del Norte (Bujak & Mudge, 1994), Chile (Quattrocchio & Sarjeant, 2003) y Nueva Zelanda (por ejemplo: Wilson, 1988; Crouch, 2001).

Las diferencias con estas zonas, son tanto de carácter cualitativo (ausencia de especies típicas de altas latitudes como *Alisocysta margarita, Alisocysta reticulata, Palaeoperidinium pyrophorum, Eisenackia* spp., *Deflandrea* spp. y *Wetzeliella* spp.) como de carácter cuantitativo (por ejemplo, la ocurrencia rara a muy rara de grupos de dinoflagelados como *Glaphyrocysta* spp., *Areoligera* spp., *Hystrichosphaeridium* spp. y *Operculodinium* spp., que son comunes a abundantes en las asociaciones de dinoflagelados de altas latitudes). Sin embargo, la distribución cuantitativa de los dinoflagelados en el

pozo ALO-1 (ver figuras 3 y 5), parece indicar cambios a menor escala en el provincialismo de las asociaciones de dinoflagelados durante el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano.

La Fase 1 refleja condiciones de alta diferenciación climática entre el trópico y los polos, con un mayor gradiente latitudinal que en las fases posteriores, indicado por el alto endemismo de las asociaciones de dinoflagelados.

La Fase 2 refleja una disminución en el provincialismo de las asociaciones de dinoflagelados, que indica una reducción en el gradiente latitudinal, con respecto a la Fase 1. Como ya se ha discutido ... Ver sección 5.1.2..., Apectodinium es también un componente frecuente a abundante de las asociaciones de dinoflagelados de latitudes intermedias durante el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano V su presencia se registra esporádicamente durante este intervalo de tiempo en altas latitudes del hemisferio norte y el hemisferio sur (por ejemplo: Powell et al., 1996; Heilmann-Clausen and Egger, 2000; lakovleva et al., 2001, Crouch et al., 2001).

Es reconocido que el hábitat típico de *Apectodinium* son bajas latitudes (Bujak & Brinkhuis, 1998), donde constituye un componente regular de las asociaciones de dinoflagelados y que su ocurrencia en latitudes mayores tuvo lugar cuando las condiciones requeridas para su ocurrencia, como temperaturas oceánicas cálidas y mayor disponibilidad de nutrientes, se dieron en distintas latitudes de ambos hemisferios en intervalos de tiempo específicos, durante la transición Paleoceno-Eoceno (Crouch, *et al.*, 2001).

*Apectodinium* es un indicador de ambientes con alta productividad primaria (Crouch, 2001), por lo que su ocurrencia en altos porcentajes durante la transición Paleoceno-Eoceno del pozo ALO-1, podría indicar un aumento en la disponibilidad de nutrientes ya sea por incrementos en la precipitación continental o por un mayor grado de **upwelling** en zonas tropicales.

La Fase 3 refleja un intervalo de bajo provincialismo de las asociaciones de dinoflagelados, que puede indicar un gradiente latitudinal de temperatura más bajo que en la Fase 1. Las asociaciones de dinoflagelados durante esta fase presentan una gran afinidad con la zona del Mediterráneo en donde *Polysphaeridium spp., Areosphaeridium diktioplokum* y *Adnatosphaeridium spp.,* ocurren en porcentajes considerables y *Diphyes spp., Hystrichokolpoma spp.* y *Eocladopyxis peniculata* son un componente común de las asociaciones de dinoflagelados (Crouch *et al.,* 2003).

# 5.4 IMPLICACIONES PARA LA RECONSTRUCCION DEL CLIMA DEL PALEÓGENO

Es bien conocido en la literatura que durante el Paleógeno Temprano las temperaturas superficiales del aire y el océano fueron superiores a las actuales (Zachos *et al.*, 2001). La magnitud de este calentamiento está bien documentada en altas latitudes de ambos hemisferios, pero su ocurrencia en latitudes tropicales es prácticamente desconocida.

Dos mecanismos se han propuesto para explicar el calentamiento observado en altas latitudes durante Paleógeno Temprano: (1) un aumento en las

concentraciones de gases de invernadero (Sloan and Rea, 1995) y (2) un incremento en el transporte de calor oceánico (Rind & Chandler, 1991). Ambos mecanismos producen diferentes predicciones para el trópico.

Los modelos de circulación general o GCMs indican que un incremento en las concentraciones de gases de invernadero ocasionaría un incremento de la temperatura tropical en la misma proporción que en altas latitudes, manteniendo así un gradiente latitudinal alto, similar al actual (Figura 6). Por el contrario, un incremento en el transporte de calor oceánico produciría un aumento de la temperatura superficial en altas latitudes mientras que la temperatura tropical se mantendría constante, disminuyendo así el gradiente latitudinal (Huber *et al.*, 2003; Figura 6).

Los pocos datos empíricos provenientes de bajas latitudes (Zachos *et al*, 1994; Pearson *et al.*, 2000), indican que las temperaturas superficiales en el trópico descendieron. Sin embargo, estas condiciones de gradiente latitudinal bajo no se han podido reproducir por los GCMs, lo cual se conoce como "**the cool tropical paradox**".

Figura 6. Predicciones acerca del gradiente de temperatura latitudinal superficial para (a) un incremento en la concentración de gases de invernadero y (b) un incremento en el transporte de calor oceánico



Tomado de Huber et al., 2003

El alto grado de endemismo observado en las asociaciones de dinoflagelados durante el Paleoceno Tardío en el pozo ALO-1 (Fase 1; Figura 5), es consistente con los resultados de distintas reconstrucciones de  $CO_2$  atmosférico, que indican altas concentraciones de este gas de invernadero durante esta época con valores entre ~400 y >2000 ppm (por ejemplo: Pearson & Palmer, 2000; Retallack, 2001; Kürschner *et al.*, 2001; Royer, 2003), muy superiores a los valores de la era preindustrial (280 ppm). Las altas concentraciones de  $CO_2$  atmosférico durante el Paleoceno Tardío producirían un calentamiento de igual magnitud en todas las latitudes,

manteniendo así un gradiente de temperatura latitudinal alto, similar al actual (Figura 6).

Una disminución en el gradiente latitudinal para el Paleoceno más Tardío-Eoceno más Temprano en el pozo ALO-1 (Fase 2; Figura 5), es consistente con los datos que indican temperaturas superficiales similares o inferiores a las actuales en zonas tropicales (Zachos *et al.*, 1994; Bralower *et al.*, 1995) y valores de temperatura superficial superiores a los actuales en latitudes altas e intermedias durante la transición Paleoceno-Eoceno (por ejemplo: Wing and Greenwood, 1993; Greenwood and Wing, 1995), indicando que otros mecanismos unidos a las altas concentraciones de gases de invernadero, deben utilizarse para explicar un bajo gradiente de temperatura latitudinal, durante este cálido intervalo de tiempo.

La aparición de especies típicas del Eoceno Temprano de la zona del Mediterráneo durante el mismo intervalo de tiempo en el pozo ALO-1 (Fase 3; Figura 5), indicaría la existencia de un gradiente de temperatura latitudinal bajo para este intervalo de tiempo. Este intervalo podría ubicarse dentro del Optimo Climático del Eoceno Temprano (~ 53 a 50 Ma), un período caracterizado por registrar las máximas temperaturas del Cenozoico en altas latitudes (Zachos *et al.*, 2001). La existencia de un gradiente de temperatura latitudinal bajo para este intervalo de tiempo ya ha sido explorada ampliamente en la literatura (por ejemplo: Sloan and Barron, 1992; Sloan *et al.*, 1995; Huber and Sloan 2001).

#### 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio indican que los cambios en la distribución cuantitativa de los dinoflagelados en zonas tropicales ofrecen potencial como indicadores de variaciones en el gradiente de temperatura latitudinal, por lo que podrían utilizarse para probar la validez de modelos paleoclimáticos existentes y proporcionar valiosa información para la elaboración y evaluación de futuros modelos paleoclimáticos.

En el intervalo estudiado, el Paleoceno Tardío registra los mayores porcentajes de dinoflagelados endémicos principalmente pertenecientes al genero *lfecysta*. Estas condiciones de alto provincialismo de las asociaciones de dinoflagelados indican un gradiente de temperatura latitudinal alto, concordante con las predicciones realizadas por los GCMs y con las reconstrucciones de  $CO_2$  atmosférico para este intervalo de tiempo.

El intervalo Paleoceno más Tardío-Eoceno más Temprano del pozo ALO-1, se caracteriza por la ocurrencia de altos porcentajes de *Apectodinium*, un evento que se registra para la misma época en las asociaciones de dinoflagelados de latitudes intermedias. Estas condiciones indican un período de alta productividad primaria con un gradiente latitudinal menos pronunciado que durante el Paleoceno Tardío.

El Eoceno Temprano del pozo ALO-1, registra la presencia de abundantes especies de dinoflagelados de afinidad con zonas ubicadas en latitudes

intermedias (como *Polysphaeridium spp.* y *Adnatosphaeridium spp.*), indicando un bajo provincialismo de las asociaciones de dinoflagelados. Estas condiciones de bajo provincialismo podrían indicar la existencia de un gradiente de temperatura latitudinal bajo para el Eoceno temprano.

#### 7. RECOMENDACIONES

El siguiente paso en el estudio es incrementar la resolución en el intervalo de muestreo y mejorar la calibración cronológica de la distribución de los dinoflagelados utilizando secciones en las que este grupo fósil co-ocurra con otros de relevancia bioestratigráfica como foraminíferos planctónicos y nanoplancton calcáreo (como ocurre en el ODP Leg 159 en el Golfo de Guinea). Esto permitirá integrar los resultados aquí obtenidos con los de estudios derivados de otras partes del planeta dentro de un marco temporal más sólido y confiable.

Se recomienda examinar las asociaciones de polen y esporas que co-ocurren con los dinoflagelados en las muestras del pozo ALO-1 y compararlas con las de estudios realizados en Colombia y Venezuela para este mismo intervalo de tiempo (por ejemplo: Jaramillo & Dilcher, 2001). Debido a la similitud florística existente entre el norte de Sur América y Nigeria durante el Paleógeno Temprano (Germeraad *et al.*, 1968; Jaramillo & Dilcher, 2001), el estudio combinado de polen, esporas y dinoflagelados en ambas regiones podría mejorar considerablemente nuestro entendimiento de la paleobiogeografía y la bioestratigrafía del Paleógeno en zonas tropicales.

#### BIBLIOGRAFIA

Anyanwu, N.P.C. and Arua, I. Ichnofossils from the Imo Formation and their palaeoenvironmnental significance. Journal of Mining and Geology. 26 (1990); p. 1-4.

Berggren, W.A., Lucas, S., and Aubry, M.P. Late Paleocene-Early Eocene climatic and biotic evolution: an overview. <u>En</u>: Aubry, M.P., Lucas, S. and Berggren, W. (Editors). Late Paleocene-Early Eocene climatic and biotic events in the marine and terrestrial records. Columbia University Press (1998); p. 1-17.

Bralower, T., Zachos, J., Thomas, E., Parrow, M., Paull, C., Kelly, C., Silva, I., Slitter, W., Lohmann, C. Late Paleocene to Eocene paleoceanography of the equatorial Pacific Ocean: Stable isotopes recorded at Ocean Drilling Program Site 865, Allison Guyot. Paleoceanography. 10 V. 4 (1995); p. 841-865.

Brinkhuis, H., Romein, A.J.T., Smit, J., and Zachariasse, W.J. Danian-Selandian dinoflagellate cysts from lower latitudes with special reference to the El Kef section, NW Tunisia. GFF. 116 (1994); p. 46-48.

Bujak, J., and Brinkhuis, H. Global warming and dinocysts changes across the Paleocene/Eocene Epoch boundary. <u>En</u>: Aubry, M.P., Lucas, S. and Berggren, W. (Editors). Late Paleocene-Early Eocene climatic and biotic

events in the marine and terrestrial records. Columbia University Press (1998); p. 277-295.

Bujak, J., and Mudge, D. A high resolution North Sea dinocyst zonation. Journal of the Geological Society of London. 151 (1994); p. 449-462.

Caro, Y. Contribution a la connaissance des dinoflagellés du Paleocene-Eocene inférieur des Pyrénées espagnoles. Revista Española de Micropaleontología. 5 (1973); p. 329-372.

Creative Research Systems. Sample Size Calculator software [on line], HTML version for Internet explorer 3.0. Petaluma, California U.S.A. 2004. Available from World Wide Web: <a href="http://www.surveysystem.com/sscalc.htm">http://www.surveysystem.com/sscalc.htm</a>

Crouch, E.M. Environmental change at the time of the Paleocene-Eocene biotic turnover. LPP Contributions Series, 14. Utrecht University. 2001. 216 p.

Crouch, E.M., Heilmann-Clausen, C., Brinkhuis, H., Morgans, H., Rogers, K.M., Egger, H. and Schmitz, B. Global dinoflagellate event associated with the late Paleocene thermal maximum. Geology. 29 #4 (2001); p. 315-318.

Crouch, E.M., Brinkhuis, H., Visscher, H., Adatte, T., and Bolle, M.-P. Late Paleocene-early Eocene dinoflagellate cyst records from the Tethys: further observations on the global distribution of Apectodinium. <u>En</u>: S.L. Wing, P.R.

Gingerich, B. Schmitz and E. Thomas (Editors). Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleocene. Geological Society of America (GSA) Special Paper 369 (2003); p. 113-131.

Dale, B. Dinoflagellate cyst ecology: modelling and geological applications. <u>En</u>: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Editors). Palynology: Principles and applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 3 (1996); p. 1249-1275.

Davey, R.J., Downie, C., Sarjeant, W.A., Williams, G.L. Studies on Mesozoic and Cainozoic dinoflagellate cysts. Bulletin of the British Museum of Natural History: Geology Supplement. 3 (1966); p. 1-248.

Evitt, W,R. Sporopollenin dinoflagellate cysts: their morphology and interpretation. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. 1985. 333 p.

Germeraad, J. H., Hopping, C. A., and Muller, J. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. Review of Palaeobotany and Palynology, Vol. 6 (1968); p. 189-348.

Greenwood, D.R. and Wing, S.L. Eocene continental climates and latitudinal temperature gradients. Geology. 23 (1995); p. 1044-1048.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and Ryan, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica. 4 (1). 2001. 9 p.

Harrington, G.J. and Kemp, S.J. US Gulf coast vegetation dynamics during the latest Paleocene. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 167 (2001); p. 1-21.

Hayek, L.A. and Buzas, M.A. Surveying natural populations. Columbia University Press, New York. 1997. 563 p.

Huber, M. and Sloan, L.C. Heat transport, deep waters and thermal gradients: Coupled simulation of an Eocene Greenhouse Climate. Geophysical Research Letters. 28 # 18 (2001); p. 3481-3484.

Huber, M., Sloan, L.C. and Shellito, C. Early Paleogene oceans and climate: a fully coupled modelling approach using NCAR CCSM. <u>En</u>: Wing, S.L., Gingerich, P.D., Schmitz, B. and Thomas, E. (editors). Causes and consequences of globally warm climates in the early Paleogene: Boulder, Colorado. Geological Society of America Special Paper 369 (2003); p. 25-47.

Heilmann-Clausen, C., and Egger, H. The Anthering outcrop (Austria): a keysection for correlation between Tethys and northwestern Europe near the Paleocene/Eocene boundary. GFF. 122 (2000); p. 69.

lakovleva, A.I., Brinkhuis, H. and Cavagnetto, C. Late Paleocene-early Eocene dinoflagellate cysts from the Turgay Strait, Kazakhstan; correlations across ancient seaways. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 172 (2001); p. 243-268.

Jan Du Chêne, R. E. Étude systématique des kystes de dinoflagellatés de la Formation des Madeleines (Danian du Sénégal). Cahiers de Micropaléontologie. 3-4 (1987); p. 147-174.

Jan du Chêne, R.E. and Adediran, S.A. Late Paleocene to early Eocene dinoflagellates from Nigeria. Cahiers de Micropaléontologie, Centre Nationale de la Recherche Scientifique. 3 (1984); p. 3-38.

Jaramillo, C. and Dilcher, D. L. Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. Palaeontotographica Abt. B, 258 (2001); p. 87-213.

Köthe, A., Khan, A.M., and Ashraf, M. Biostratigraphy of the Surghar Range, Salt Range, Sulaiman Range and the Kohat area, Pakistan, according to Jurassic through Paleogene calcareous nannofossils and Paleogene dinoflagellates. Geologisches Jahrbuch, B71 (1988); p. 3-87.

Kovach, W. L. Comparisons of multivariate analytical techniques for use in pre-Quaternary plant ecology. Review of Palaeobotany and Palynology. 60 (1989); p. 255-282.

Kürschner, W.M., Wagner, F., Dilcher, D.L. and Visscher, H. Using fossil leaves for the reconstruction of Cenozoic paleoatmospheric CO<sub>2</sub> concentration. <u>En</u>: Gerhard, L.C., Harrison, W.E., Hanson, B.E. (Editors). Geological Perspectives of Global Climate Change. American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, OK. 2001. 732 p.

Oboh-Ikuenobe, F.E., Yepes, O. and Gregg, J.M. Palynostratigraphy, palynofacies, and thermal maturation of Cretaceous-Paleocene sediments from the Cote D'Ivore-Ghana transform margin. <u>En</u>: Mascle, J., Lohmann, G.P., and Moullade, M. (editors.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results. 159 (1998); p. 277-318.

Pearson, P.N. and Palmer, M.R. Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. Nature. 406 (2000); p. 695-699.

Pearson, P.N., Ditchfield, P.W., Singano, J., Harcourt-Brown, K.G., Nicholas, C.J., Olsson, R.K., Shackleton, N.J., Hall, M.A. Warm tropical sea surface temperatures in the Late Cretaceous and Eocene epochs. Nature. 413 (2000); p. 481-487.

Pielou, E.C. The interpretation of ecological data. Wiley, New York. 1984. 263 p.

Powell, A.J., Brinkhuis, H., and Bujak, J.P. Upper Paleocene-lower Eocene dinoflagellate cyst sequence biostratigraphy of southeast England. <u>En</u>: Knox,

R., Corfield, R.M. and Dunay, R.E. (Editors). Correlation of the early Paleogene in Northwest Europe. Geological Society Special Publication. 1001 (1996); p. 145-183.

Quattrocchio, M.E. and Sarjeant W.A. Dinoflagellates from the Chorillo Chico Formation (Paleocene) of Southern Chile. Ameghiniana. Asociación Paleontológica Argentina. 40 # 2 (2003); p. 129-153.

Retallack, G.J. A 300-million-year-record of atmospheric carbon dioxide from fossil plant cuticles. Nature. 411 (2001); p. 287-290.

Royer, D.L. Estimating latest Cretaceous and Tertiary atmospheric CO<sub>2</sub> from stomatal indices. <u>En</u>: Wing SL, Gingerich PD, Schmitz B, Thomas E (Editors). Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene. Geological Society of America Special Paper, 369 (2003); p. 79-93.

Rind, D. and Chandler, M. Increased ocean heat transport and warmer climate. Journal of Geophysical Research. 96 (D4) (1991); p. 7437-7461.

Sloan, L.C. and Barron, E.J. A comparison of Eocene climate model results to quantified paleoclimatic interpretations. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 93 (1992); p. 183-202.

Sloan, L.C., Walker, J.C. and Moore, T.C. Possible role of oceanic heat transport in early Eocene climate. Paleoceanography. 10 # 2 (1995); p. 347-356.

Sloan, L.C. and Rea, D.K. Atmospheric carbon dioxide and early Eocene climate: A general circulation modelling sensitive study. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 119 (1995); p. 275–292.

Stover, L.E., Brinkhuis, H., Damassa, S.P., de Verteuil, L., Helby, R.J., Monteil, E., Patridge, A.D., Powell, A.J., Riding, J.B., Smelror, M. & Williams, G.L. Mesozoic-Tertiary dinoflagellates, acritarchs and prasinophytes. <u>En</u>: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (editors). Palynology: principles and applications; American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation 2 (1996); p. 641-750.

Traverse, A. Paleopalynology. Academic Press, New York. 1988. 600 p.

Wall, D., Dale, B., Lohmann, G.P., and Smith, W.K. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas: Marine Micropaleontology. 2 (1977); p. 121-200.

Williams, G.L. and Bujak, J.P. Mesozoic and Cenozoic dinoflagellates. <u>En</u>: Bolli, H.M., Saunders, J.B. & Perch-Nielsen, K. (editors). Plankton stratigraphy. Cambridge University Press. Cambridge (1985); p. 847-964.

Williams, G.L., Lentin, J.K., Fensome, R.A. The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. 1998. 817 p.

Wilson, G.J. Paleocene and Eocene dinoflagellate cysts from Waipawa, Hawkes Bay, New Zealand. New Zealand Geological Survey paleontological bulletin. 57. 1988. 96 p.

Wing, S.L. and Greenwood, D.R. Fossils and fossil climate: the case for equable continental interiors in the Eocene. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B341 (1993); p. 243-252.

Yepes, O. Maastrichtian-Danian dinoflagellate cyst biostratigraphy and biogeography from two equatorial sections in Colombia and Venezuela. Palynology. 25 (2001); p. 217-249.

Zachos, J. C., Stott, L. D., and Lohman, K. C. Evolution of early Cenozoic marine temperatures. Paleoceanography. 9 (1994); p. 353–387.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K. Trends, rhythms and aberrations in global climate 65 Ma to present. Science. 292 (2001); p. 686-693.

# APENDICE 1: ILUSTRACIONES DE ALGUNOS DINOFLAGELADOS DEL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO INFERIOR DEL POZO ALO-1, NIGERIA

- 1. Adnatosphaeridium membraniphorum, R-1134-3, 103.3 x 22.1
- 2. Adnatosphaeridium multispinosum, R-1134-2, 95 x 6.9
- 3. Apectodinium sp. A, R-1134-3, 105.2 x 10.4
- 4. Apectodinium sp. B, R-1134-8, 78.2 x 10.8
- 5. *Apectodinium* spp., R-1134-3, 83.7 x 8.7
- 6. Apectodinium spp., R-1134-4, 84.8 x 9.1
- 7. Apectodinium spp., R-1134-3, 81.1 x 17.4
- 8. Apectodinium spp., R-1134-8, 108.7 x 3.0
- 9. *Apteodinium* spp., R-1134-3, 85.8 x 17.2
- 10. Apteodinium spp., R-1134-10, 72.7 x 4.9
- 11. Areoligera sp. cf. A. senonensis, R-1134-10, 76.8 x 12.8
- 12. Areosphaeridium? diktioplokum, R-1134-2, 102.5 x 8.1
- 13. Cordosphaeridium sp. cf. C. fibrospinosum, R-1134-3, 78.3 x 13.1
- 14. Cordosphaeridium sp. cf. C. gracile, R-1134-3, 91.8 x 10



- 1. Diphyes colligerum, R-1134-4, 101.8 x 14,6
- 2. *Diphyes spinula*, R-1134-3, 97.6 x 19.3
- 3. *Diphyes* sp. 1, R-1134-15, 105.7 x 12.9
- 4. Eocladopyxis sp. cf. E. peniculata, R-1134-3, 75 x 20.2
- 5. *Fibrocysta bipolaris*, R-1134-3, 108.4 x 8.6
- 6. Glaphyrocysta divaricata, R-1134-3, 103.7 x 5.9
- 7. *Glaphyrocysta ordinata*, R-1134-2, 102.9 x 13.4
- 8. Hystrichokolpoma rigaudeae, R-1134-2, 103.8 x 8.8
- 9. Hystrichokolpoma sp. A, R-1134-8, 78.4 x 10.4
- 10. *lfecysta pachyderma*, R-1134-8, 102.3 x 8.6
- 11. *Ifecysta pachyderma*, R-1134-5, 78.5 x 6.0
- 12. *Ifecysta pachyderma*, R-1134-8, 94.4 x 8.0
- 13. Ifecysta pachyderma, R-1134-11, 103.9 x 12.3
- 14. *Ifecysta pachyderma*, R-1134-4, 104.3 x 5.5































- 1. Ifecysta? pachyderma, R-1134-9, 94.1 x 5.5
- 2 Ifecysta pachyderma var. fibrosa, R-1134-3, 103.5 x 20.8
- 3. *Ifecysta* sp. A., R-1134-3, 105.2 x 22.8
- 4. Impagidinium sp., R-1134-10, 92.9 x 3.5
- 5. *Kallosphaeridium nigeriense*, R-1134-3, 89.4 x 23
- 6. Kallosphaeridium orchiesense, R-1134-2, 108.2 x 15.1
- 7. Lanternosphaeridium lanosum, R-1134-7, 85.3 x 18.7
- 8. *Leptodinium* sp., R-1124-8, 93.6 x 12.8
- 9. *Leptodinium* sp. A, R-1134-3, 83.6 x 13.2
- 10. Palaeocystodinium golzowenze, R-1134-2, 91.3 x 13.9

























- 1. Palaeocystodinium sp. A., R-1134-9, 91.9 x 10.9
- 2. Palaeocystodinium sp. A., R-1134-9, 79.4 x 12.1
- 3. Phelodinium sp., R-1134-10, 86.2 x 9.1
- 4. Polysphaeridium spp., R-1134-2, 98.9 x 15.9
- 5. Pterodinium? sp., R-1134-3, 90.7 x 14.5
- 6. Sentusidinium? sp., R-1134-5, 99.8 x 12.4
- 7. *Spinidinium* sp., R-1134-10, 107.6 x 11.3
- 8. *Spiniferites* spp., R-1134-2, 77.5 x 4.8
- 9. Spiniferites spp., R-1134-8, 81.4 x 12.7
- 10. *Spiniferites* spp., R-1134-3, 101.6 x 19.5
- 11. Spiniferites ramosus, R-1134-4, 102 x 9.6
- 12. Leiosphaeridia sp., R-1134-11, 82x12.9



























#### **APENDICE 2: LISTA DE ESPECIES Y ANOTACIONES MORFOLOGICAS**

Este apéndice contiene una lista de las especies de dinoflagelados observadas en el intervalo Paleoceno Superior-Eoceno Inferior del pozo ALO-1 (Nigeria). Los taxa se listan alfabéticamente y las citas taxonómicas se hacen de acuerdo con Williams et al. (1998). Para algunos taxa no reportados previamente en la literatura se utiliza una nomenclatura abierta y se proporcionan descripciones de carácter informal. Estos taxa no se describen formalmente debido a limitaciones de tiempo o a un número limitado de especímenes. Los nombres de los taxa ilustrados en el Apéndice 1 se señalan con un asterisco (\*).

# DINOFLAGELADOS

#### Adnatosphaeridium membraniphorum\* Jan du Chêne and Adediran 1985

Adnatosphaeridium multispinosum\* Williams and Downie 1966

Apectodinium sp. A\*

Descripción: quiste proximocorado, cornucavado peridinoide con un horn apical, dos horns laterales y dos horns anteapicales todos muy bien desarrollados, de morfología y longitud variables entre si. El quiste consta de dos capas: un endofragma liso de forma pentagonal y un perifragma con procesos cortos muy unido al endofragma excepto en los horns donde la cavación es prominente, ambas capas son muy delgadas. Los procesos son tubulares, bífidos o acuminados y se distribuyen principalmente en el ámbito del quiste y en la superficie de los horns. Arqueopilo tipo I/I estilo "cuadra", generalmente difícil de observar.

Dimensiones: endoquiste ~70 x60  $\mu$ m; longitud de los horns 20-25  $\mu$ m.

Anotaciones: este taxa difiere de las demás especies del género *Apectodinium* en la prominencia y desarrollo de todos sus horns y en la presencia de ornamentación restringida al ámbito del quiste y a la superficie de los horns.

Apectodinium sp. B\*

Descripción: quiste proximocorado, cornucavado, peridinoide con un horn apical y dos horns anteapicales bien desarrollados, siendo el horn anteapical derecho más corto que su contraparte izquierdo. Endofragma liso de forma pentagonal y perifragma con algunos procesos irregularmente distribuidos sobre la superficie del quiste, ambas capas siendo bastante delgadas y cóncavas en el borde que separa los horns anteapicales. Paracíngulo indicado por dos protuberancias laterales del periquiste. Arqueopilo tipo I/I estilo "cuadra" difícil de observar.

Dimensiones: endoquiste ~80 x 50  $\mu$ m; longitud de los horns 17-20  $\mu$ m.

Anotaciones: *Apectodinium* sp. B, puede distinguirse de las demás especies de *Apectodinium* por la forma regular del endoquiste y el periquiste, la indicación del paracíngulo y la presencia de un borde cóncavo que separa los horns anteapicales.

Apectodinium spp.\*

## Apteodinium spp.\*

# Areoligera cf. A. senonensis\* (Lejeune-Carpentier 1938) Williams & Downie 1966

Anotaciones: este taxa es muy similar a *A. senonensis* pero con grupos de procesos desarrollados tanto en la superficie dorsal como en la ventral.

Areoligera spp.

Anotaciones: bajo este nombre se reúnen especies del "complejo *Areoligera senonensis*" de Eaton (1976), que incluye formas transicionales entre *A. senonensis, A. coronata* y *A. medusettiformis.* 

# Areosphaeridium? diktioplokum\* Klumpp 1953 emend. Eaton 1971

Anotaciones: los individuos asignados a ésta especie son muy similares a *A. diktioplokum* en la forma, los rasgos de la superficie del quiste y en la distribución y terminación de los procesos, pero los especímenes aquí registrados presentan trabeculas interconectando distalmente los procesos.

Cleistosphaeridium heteracanthum (Deflandre and Cookson 1955) Davey et al. 1966

Cleistosphaeridium sp.

Cordosphaeridium cf. C. fibrospinosum\* Eisenack 1963 emend. He Chengquan 1991

Cordosphaeridium cf. C. gracile\* Eisenack 1954 emend. Davey and Williams 1966

*Diphyes colligerum*\* **Deflandre and Cookson 1955 emend. Goodman and** Witmer 1985

Diphyes spinula\* (Drugg 1970) Stover and Evitt 1978

Diphyes sp. 1\* Jan du Chêne 1987

Eocladopyxis cf. E. peniculata\* Morgenroth 1966 emend. McLean 1976

Anotaciones: los individuos aquí observados difieren de *E. peniculata* en que las paraplacas del paracíngulo no son claramente diferenciables.

Fibrocysta bipolaris\* (Cookson and Eisenack 1965) Stover and Evitt 1978

Glaphyrocysta divaricata\* (Williams and Downie 1966) Stover and Evitt 1978

Glaphyrocysta ordinata\* (Williams and Downie 1966) Stover and Evitt 1978

Hystrichokolpoma rigaudeae\* Deflandre and Cookson 1955

*Hystrichokolpoma* sp. A\*

Anotaciones: los individuos asignados a *Hystrichokolpoma* sp. A son similares a *Hystrichokolpoma rigaudeae* pero con distintas terminaciones en los procesos, los cuales son tubulares, abiertos distalmente y con bordes

dentados. *Hystrichokolpoma* sp. A es muy similar a *Hystrichokolpoma* sp. cf. *H rigaudeae* de Crouch et al., (2003).

Hystrichosphaeridium sp.

### Ifecysta pachyderma\* Jan du Chêne and Adediran 1985

Anotaciones: los individuos asignables a *I. pachyderma* exhiben gran variabilidad morfológica en la longitud, forma y desarrollo de los procesos y en la longitud de los horns apical y anteapical.

## Ifecysta pachyderma var. fibrosa\*

Anotaciones: aquí se incluyen individuos con las características de *I. pachyderma* con un perifragma fibroso formando procesos penitabulares.

Ifecysta sp. A\*

Descripción: quiste skolocorado, gonyaulacoide, esférico a sub-esférico con un endofragma liso y un perifragma fibroso claramente diferenciable en la base de los procesos que son intratabulares, tubulares, con bordes digitados. El endoquiste forma una pequeña protuberancia anteapical en forma de horn. Paracíngulo bien delineado por la posición de 6 procesos de menor longitud que los demás. Arqueopilo precingular, tipo  $P_{3^n}$ .

Dimensiones: diámetro ~62 µm; longitud de los procesos ~30 µm.

Anotaciones: *lfecysta* sp. A es similar a las demás especies del género *lfecysta* en el carácter fibroso del perifragma, el tamaño del endoquiste y la forma del arqueopilo y se distingue de éstas por la ausencia del horn apical,

la presencia de un horn anteapical poco desarrollado y el carácter intratabular de los procesos.

Impagidinium sp.\*

Kallosphaeridium nigeriense\* Jan du Chêne et al. 1985

Kallosphaeridium orchiesense\* de Coninck, 1975 emend. Jan du Chêne et al. 1985

Lanternosphaeridium lanosum\* Morgenroth 1966 emend. Stover and Evitt 1978

Leptodinium sp.\*

Leptodinium sp. A\*

Descripción: quiste elipsoidal, murocorado, gonyaulacoide, epicavado con un horn apical bien desarrollado. Dos capas endofragma y perifragma lisos, el último formando septos parasuturales y el horn apical. El perifragma presenta dos aperturas laterales prominentes en forma de ventana en el horn apical. Paratabulación perfectamente indicada por los septos parasuturales y arqueopilo tipo  $P_{3^{"}}$ . La paraplaca 6" es pentagonal en contacto con las paraplacas 1' y 4'.

Dimensiones: endoquiste ~70  $\mu$ m; horn apical ~ 30  $\mu$ m.

Anotaciones: la característica que permite diferenciar a *Leptodinium* sp. A de las demás especies del género *Leptodinium* es la presencia de dos aperturas
laterales en forma de ventana situadas en el epiquiste a la altura del horn apical.

# Operculodinium sp. 1

Anotaciones: especie de *Operculodinium* con un quiste skolocorado, subesférico a elipsoidal con numerosos procesos (>50) o grupos de procesos no tabulares, tubulares y capitados. La superficie del quiste es ligeramente granular sin otros rasgos de paratabulación más que la sutura principal del arqueopilo que es de tipo tA.

# Operculodinium sp. 2

Anotaciones: especie de *Operculodinium* con un quiste skolocorado, elipsoidal con numerosos procesos (>50) acuminados no tabulares, de tamaño uniforme. Superficie del quiste lisa y arqueopilo apical tipo tA.

# Palaeocystodinium golzowenze\* Alberti 1961

# Palaeocystodinium sp. A\*

Descripción: endoquiste globular y epiquiste fusiforme con un horn apical y un horn anteapical medianamente desarrollados. El arqueopilo es de tipo  $I_{2a}$  generalmente difícil de observar, sin ningún otro rasgo que proporcione idea acerca de su patrón de paratabulación.

Dimensiones: endoquiste ~60 x 60  $\mu$ m; longitud de los horns 17-22  $\mu$ m.

Anotaciones: Este taxa es muy similar a *Palaeocystodinium* sp. A de Oboh-Ikuenobe et al. (1998) y se distingue de las demás especies de *Palaeocystodinium* por el mediano desarrollo de sus horns.

Phelodinium sp.\*

Polysphaeridium spp.\*

Pterodinium? sp.\*

Sentusidinium? sp.\*

Spinidinium sp.\*

Spiniferites ramosus\* Ehrenberg 1838

Spiniferites spp.\*

Wilsodinium sp.

## ANEXO 1: DISTRIBUCION ESTRATIGRAFICA DE LOS DINOFLAGELADOS EN EL INTERVALO PALEOCENO SUPERIOR-EOCENO INFERIOR DEL POZO ALO-1

|             | (Samples in Discipline(s) : Paly<br>Muestras | Dinoflagelados<br>Stratigraphic Range   |                |  |  |  |
|-------------|--|---|----------------|--|--|--|
| Profundidad |  | Adnatosphaeridium membraniphorum<br>Adnatosphaeridium multispinosum<br>Areosphaeridium multispinosum<br>Diphyes spinulum<br>Glaphyrocysta ordinata<br>Histrichokolpoma ngaudeae<br>lifecysta pachyderma var. fibrosa<br>Histrichokolpoma ngaudeae<br>Herysta pachyderma var. fibrosa<br>fiecysta pachyderma var.<br>fieoysta pachyderma sp.<br>Palaeocystodinium sp.<br>Spiniferites spp.<br>Aptectodinium sp.<br>Aptectodinium sp.<br>Aptectodinium sp.<br>Cordosphaeridium sp.<br>Cordosphaeridium sp.<br>Cordosphaeridium sp.<br>Leptodinium sp.<br>Hystirchokolpoma sp. A<br>Hystirchokolpoma sp. A<br>Hystirchok | Spindinium sp. |  |  |  |
| 100m        | R-1134-3                                     |   |                |  |  |  |
| 150m        |  |   |                |  |  |  |
| 200m        | —— R-1134-4                                  |   |                |  |  |  |
| 250m        | —— R-1134-5                                  |   |                |  |  |  |
| 300m        | R-1134-6                                     |   |                |  |  |  |
| 250m        | —— R-1134-7                                  |   |                |  |  |  |
| 400-        | R-1134-8                                     |   |                |  |  |  |
| 400m        | R-1134-9                                     |   |                |  |  |  |
| 450m        | R-1134-10                                    |   |                |  |  |  |
| 500m        |  |   |                |  |  |  |
| 550m        |  |   |                |  |  |  |
| 600m        | —— к-1134-12                                 |   |                |  |  |  |
| 650m        | —— R-1134-13                                 |   |                |  |  |  |
| 700m        | R-1134-14                                    |   |                |  |  |  |
| 750m        | R-1134-15                                    |   |                |  |  |  |
| 800m        | R-1134-16                                    |   |                |  |  |  |