

Los Dinoflagelados
del Mioceno Medio alto - Mioceno Superior
del Caribe Colombiano:
Taxonomía, bioestratigrafía e implicaciones geológicas.

Liliana Medina Campos
Bióloga Marina

Asesor
Dr. José Ignacio Martínez
Departamento de Geología, Universidad EAFIT

Universidad EAFIT
Departamento de Geología
Maestría en Ciencias de la Tierra

2006

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	6
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Los Dinoflagelados como indicadores paleoambientales y como herramientas bioestratigráficas.....	9
<i>1.1.2 Características generales.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.3 Distribución geográfica e información paleoambiental.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.4 Respuesta a la oferta de nutrientes.....</i>	<i>12</i>
<i>1.1.5 Los Dinoflagelados como herramienta bioestratigráfica.....</i>	<i>13</i>
1.2 El Mar Caribe durante el Mioceno.....	13
1.3 El Caribe Colombiano: ámbito tectónico y marco geológico.....	15
1.4 La Cuenca del Valle Inferior del Magdalena.....	17
1.5 Margen Continental de la Baja Guajira.....	20
CAPÍTULO 2. MÉTODOS.....	22
2.1 Muestreo	22
2.2 Preparación de las placas palinológicas.....	23
2.3 Conteo y Clasificación de dinoflagelados	24
2.4 Análisis Estadístico.....	25
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	26
3.1 Recobro y Calidad de las placas.....	26
3.2 Taxonomía.....	27

CAPÍTULO 4. BIOESTRATIGRAFÍA.....	49
4.1 Pozo Santa Rita-1.....	49
4.2 Pozo Caracolí-1.....	52
4.3 Pozo Barranquilla-1.....	55
4.4 Pozo Merluza-1.....	58
4.5 Pozo Chuchupa-1.....	61
CAPÍTULO 5. ASOCIACIONES DE DINOFLAGELADOS: Aproximación Cronoestratigráfica.....	65
CAPÍTULO 6..PALEOECOLOGÍA.....	71
6.1 Paleoproductividad en el Mioceno Medio alto - Mioceno Tardío, ocurrencia de sistemas de surgencia.....	71
6.2 Dinoflagelados: Indicadores paleobatimétricos y paleoambientales.....	81
CONCLUSIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS	

RESUMEN

Del estudio palinológico del intervalo Mioceno Medio alto – Mioceno Superior, para el Caribe Colombiano se reporta, por primera vez, la ocurrencia de 42 morfotipos de dinoflagelados (22 Gonyaulacales, 19 Peridiniales y 1 del tipo Mixto) con una mayor abundancia de Gonyaulacales en el Valle Inferior del Magdalena y mayor abundancia y diversidad de Peridiniales en la Baja Guajira, coincidiendo esto último, con la diversificación de los Peridiniales durante el Neógeno. Se reconocen 6 posibles zonas de dinoflagelados en el intervalo Mioceno Medio alto – Mioceno Superior, incrementando así la resolución bioestratigráfica basada en foraminíferos planctónicos y polen. La variación del índice Peridiniales/Gonyaulacales (P/G), en relación con el porcentaje de *Globorotálidos* y *Neogloboquadrínidos* (foraminíferos de aguas profundas), sugieren el sostenimiento de condiciones ricas en nutrientes asociadas con descargas fluviales en el Valle Inferior del Magdalena y sistemas de surgencia en la Baja Guajira. Las condiciones paleoceanográficas en el área de la Baja Guajira durante el Mioceno Tardío habrían sido análogas a las actuales, sugiriendo así el posible inicio del actual sistema de surgencia de la Guajira para este tiempo. Para el Valle Inferior del Magdalena se sugieren ambientes de depósito someros para la Unidad Porquero Superior durante el Mioceno Medio tardío, y ambientes de paleodelta para la Unidad Tubará durante el Mioceno Tardío. En la Baja Guajira se sugieren ambientes de plataforma en la parte alta de la Formación Jimol durante el Mioceno Medio, con ambientes someros (plataforma interna?) hacia la Formación Castilletes durante el Mioceno Tardío.

ABSTRACT

From the palynological study of the upper Middle Miocene – Upper Miocene interval, of the Colombian Caribbean it is reported, for the first time, the occurrence of 42 dinoflagellate morphotypes (22 Gonyaulacal, 19 Peridinal and 1 of the Mixed type) with a greater abundance of the Gonyaulacal group in the Lower Magdalena Valley and greater abundance and diversity of the Peridinal group in Lower Guajira. The latter occurrence agrees with the diversification of the Peridinal group during the Neogene. Six (6) possible dinoflagellate zones are recognized in the upper Middle Miocene – Upper Miocene interval thus increasing the biostratigraphic resolution provided by planktonic foraminifera and pollen. Peridiniales/Gonyaulacales index (P/G) variation in relation to the percentage of Globorotalids

and Neoglobobadrinids (deep waters foraminifera), suggests nutrient-rich conditions associated with fluvial discharge at the Lower Magdalena Valley and upwelling systems at the Baja Guajira. Paleooceanographic conditions in the Baja Guajira area during the Late Miocene would be analogous to the present thus suggesting the possible beginning of the present Guajira upwelling system by this time. For the Lower Magdalena Valley, Shallow-water conditions (inner to middle shelf) are suggested for the Porquero Superior Unit during late Middle Miocene, and paleodelta environments for the Tubará Unit during Late Miocene. For the Baja Guajira, a middle shelf environment is suggested for the upper part of the Jimol Formation during the Middle Miocene, followed by shallower conditions (inner shelf?) for the Castilletes Formation during Late Miocene.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo contó con la colaboración de personas que de manera desinteresada dedicaron su valioso tiempo no solo en la comprensión de diferentes temas geológicos, sino que además su opinión y oportunas correcciones soportaron el desarrollo del mismo.

Especialmente quiero agradecer al Dr. Martin J. Head de Brock University - AASP, quien realizó la valoración de los morfotipos aquí descritos y cuyos comentarios al respecto orientaron este trabajo en su componente taxonómico y al Dr. José Ignacio Martínez, quien siempre estuvo al frente de mi proceso de aprendizaje y consecución de resultados, su invaluable tiempo en la revisión de este documento y sus acertados comentarios son merecedores de mi total gratitud.

El apoyo económico brindado por el Instituto Colombiano del Petróleo que facilitó el completo desarrollo de este trabajo y el Grupo de Bioestratigrafía de esta entidad, en cabeza inicialmente del Dr. Carlos Jaramillo y continuado por el Dr. Vladimir Torres, merecen mi profundo agradecimiento no solo por la oportunidad brindada y su amistad, sino por su pronta colaboración en el momento requerido.

Al cuerpo docente del Departamento de Geología de la Universidad EAFIT, así como al personal de Laboratorios, quienes me enseñaron a querer la Geología y sus múltiples aplicaciones y la importancia de integrar las diferentes ramas de la ciencia. A mis profesores, Gloria María, Juan Darío, Iván Darío y Germán; compañeros de clases y estudiantes del departamento, quienes tuvieron que soportar un sinfín de interrogantes que me permitieron aprender a valorar el significado de las palabras “maestro y compañero”

Quisiera agradecer especialmente a: Magda Lucía, Adriana Paola, Claudia, José Enrique, Guillermo, Sandra Milena, Carlos Enrique, Carlos Humberto, Daniel, Iván, Fernando y al personal del Laboratorio de Muestras Geológicas del ICP en cabeza de Luis Fernando Peña su amistad, paciencia, tiempo y colaboración.

A las Familias Palomino Velandia y Prada Velandia quienes me recibieron en su hogar como un miembro más y me brindaron su amor y apoyo en todos los momentos, gracias por dejarme ser parte de ustedes y enseñarme la alegría y costumbres del santandereano.

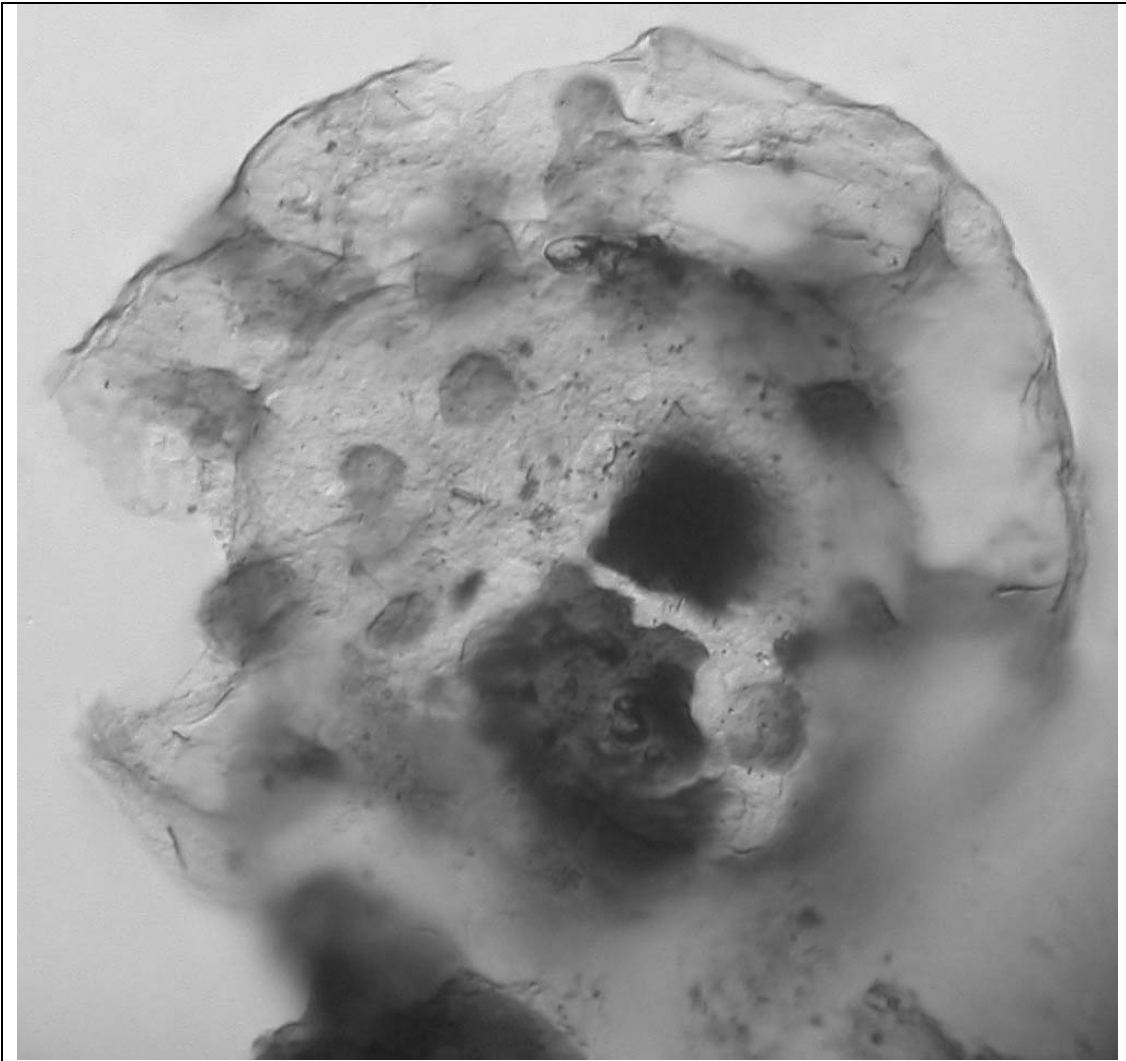
A mis colegas Nohra, Liliana y Henry Julián, quienes me apoyaron en la idea de emprender nuevos rumbos hacia el pasado.

A la mafia scout: Ana María, Sandra Marcela, Mario, Pope, Bávaro, gracias por su interminable amistad y tiempo dedicado a este trabajo.

Finalmente a mi familia: mis padres que desde el cielo y en Bogotá, siempre tuvieron la palabra y sentimiento adecuados para fortalecer mi espíritu; a mis hermanas, hermano, sobrinas y sobrinos quienes me brindaron su incondicional apoyo y amor; a Julita, Laurita y mis tías Lilia, Aurora y Gladys quienes en sus oraciones siempre me tuvieron presente.

***“Un poco de Ciencia aleja de Dios, pero mucha devuelve a Él”
Louis Pasteur***

1. Introducción



Tuberculodinium vancampoe

El estudio del registro bioestratigráfico de organismos planctónicos es fundamental en la reconstrucción de la historia geológica de una cuenca sedimentaria. El grupo de dinoflagelados, constituyente fitoplanctónico, es considerado como uno de los “proxies” biológicos con más alta resolución bioestratigráfica, que permite además reconstruir variaciones del nivel del mar y condiciones tróficas de los ecosistemas marinos, entre otros. Su utilidad bioestratigráfica es complementaria de otros grupos planctónicos como foraminíferos, cocolitofóridos, diatomeas, radiolarios y grupos terrestres como el polen.

La aplicación de la bioestratigrafía en el área del Caribe Colombiano, ha tenido un mayor énfasis en los foraminíferos (Petters y Sarmiento, 1956; Martínez, 1995; Duque-Caro, 1990, 2001; Rubio y Ramírez, 1999; Hernández et al, 2003) aplicándose de manera especial en la industria del petróleo (Guerra, 1980; Chamorro, 1987; Olaya y Ramón, 1988; Robertson, 1992; HOCOL, 1993; ICP, 1998; Texaco – Shell, 1999; Texaco – Shell – ECOPETROL, 1999); la recopilación de la información existente fue realizada para ECOPETROL por Rubio y Ramírez (1999) y es de carácter reservado.

El desarrollo reciente de una zonificación preliminar (versión Junio/05) con base en foraminíferos planctónicos con aplicación a la exploración petrolera en el Caribe Colombiano (Rincón et al, en preparación) para el Mioceno, consiste de las siguientes:

- Zona de *Catapsidrax* (*C. dissimilis* y *C. stainofrthi*): de edad Mioceno Temprano (21.5 – 16.1ma)
- Zona de *Globorotalia fohsi* (*Globigerinoides diminutus* – *Praeorbulina sicana*, *Globorotalia peripheroronda* y *Globorotalia fohsi fohsi*) de edad Mioceno Medio (16.1 – 11.8ma)
- Zona de *Globigerina venezuelana* de edad Mioceno Medio Tardío al Mioceno Tardío (11.8 – 5.33ma)

La otra herramienta bioestratigráfica utilizada es el polen (Dueñas, 1986; ECOPETROL-ICP, 2003, 2004, 2005) que ha permitido el desarrollo de una zonificación para el intervalo Cretácico a Mioceno Medio (Jaramillo y Rueda, 2004). En este esquema se proponen 10 biozonas desde el Mioceno Temprano (23.8 – 16.4ma) al Mioceno Medio, así:

- Mioceno Temprano: Contiene 9 biozonas con base en la ocurrencia de las especies: *Laevigatosporites tibuensis*, *Retistephanoporites minutiporus*, *Psilatricolporites pachyermatus*, “Marine”, “Marine” – *Echitricolporites maristellae*, *Retitricolporites planopolaris*, *Cyclusphaera scabrata*, *Retistephanoporites crassanulatus* y *E. maristellae*.
- Mioceno Medio: Se caracteriza con la zona de *Crassoretritiletes* sp.

De lo anterior, se observa que para el Mioceno Tardío, cuya duración es de ~8 ma (ICS, 2004), solamente se ha propuesto la zona de *G. venezolana*. Es decir, se hace muy evidente la necesidad de un mejoramiento en la resolución bioestratigráfica. La aplicación de los dinoflagelados como herramientas bioestratigráficas que incrementen la resolución temporal para este intervalo, requiere de un conocimiento de las asociaciones de especies de este grupo y su aplicación en el desarrollo de una zonificación que en conjunto permita una reducción del riesgo exploratorio de hidrocarburos y su utilización en estudios regionales.

El presente trabajo registra la ocurrencia en el Caribe Colombiano de los dinoflagelados – taxonomía y bioestratigrafía- para el Mioceno Superior. Además se presentan y discuten 10 especies de dinoflagelados que potencialmente permitirían el establecimiento de un esquema bioestratigráfico regional, mejorando así la resolución bioestratigráfica del Caribe Colombiano. Se proponen 4 zonas de dinoflagelados para el intervalo temporal de la zona *G. venezolana*, aumentando así la resolución bioestratigráfica para el Mioceno Superior.

1.1 Los Dinoflagelados como indicadores paleoambientales y como herramientas bioestratigráficas.

1.1.2 Características generales

Los dinoflagelados son protistas, División Pyrrophyta, Clado Alveolata (Purves et al, 2005) que conforman el segundo grupo de importancia en el fitoplancton. Su historia geológica se inicia en el Silúrico; sin embargo, aún en la ausencia de quistes, evidencias biogeoquímicas (Moldowan y Talyzina, 1998) ampliarían su rango hasta el Neoproterozoico (~520 ma).

Los dinoflagelados son abundantes y diversos en ambientes marinos pelágicos a someros debido a sus diferentes requerimientos nutricionales, permitiéndoles habitar desde el medio marino –desde las aguas superficiales donde aprovechan los fosfatos y nitratos, descendiendo en la columna de agua por debajo de la zona de disminución de estos nutrientes- hasta aguas dulces (e.g. Edwards, 1993; Eshet et al, 1994; De Verteuil y Norris, 1996).

Sus hábitos alimenticios varían según sean autótrofos (fotosintéticos), pastoreadores, predadores, parásitos o simbioses (Edwards, 1993), favoreciendo su desarrollo en

diferentes ecosistemas. El ciclo de vida de los dinoflagelados presenta una fase haploide (schizonte o célula vegetativa) y otra diploide (Figura 1) en la cual generan su forma de resistencia o quiste (Evitt, 1985).

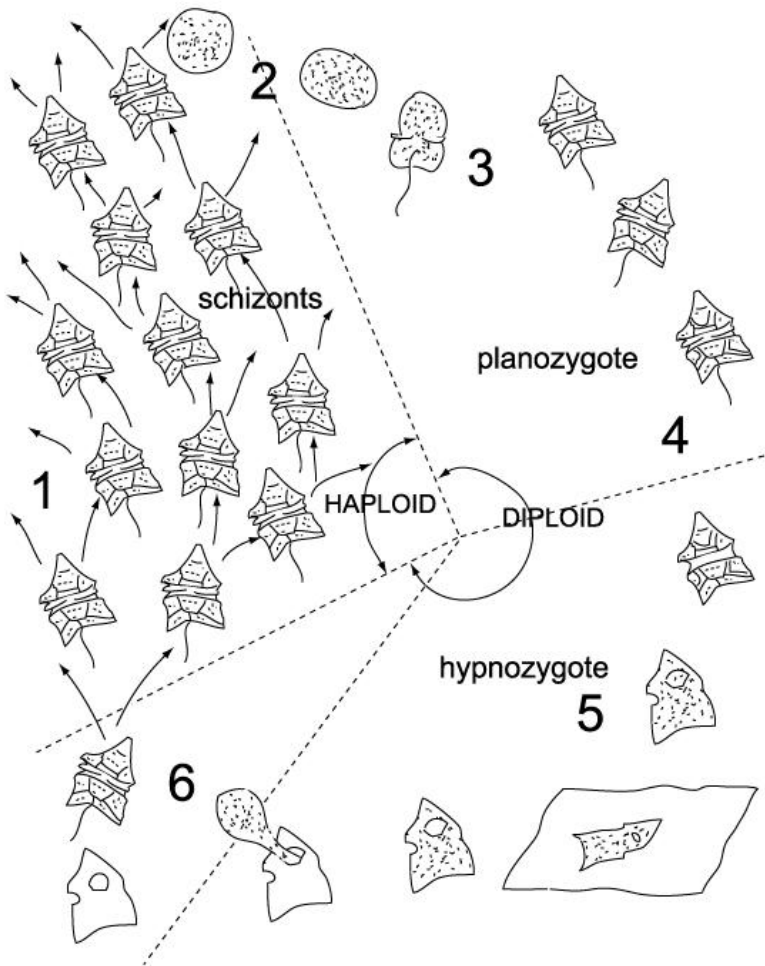


Figura 1. Ciclo de vida de los dinoflagelados. 1) incremento y sostenimiento poblacional de células móviles haploides (esquizontes); 2) fusión de esquizontes generando cigotos diploides; 3) cambio morfológico del cigoto diploide (planozigote) perdiendo gradualmente su movilidad; 4) pérdida total de movilidad y máximo cambio morfológico (hypnozigote o quiste); 5) deposición del quiste en el sedimento; y 6) germinación del quiste bajo condiciones favorables (modificado de Fensome et al, 1996)

La formación de quistes en las especies, cuya pared está constituida por materiales preservables como la esporopolenina o carbonato de calcio, favorecen su presencia en el registro estratigráfico (Evitt, 1985). Las condiciones de preservación existentes en el trópico, favorecen una mayor ocurrencia de quistes (Evitt, 1985, Edwards, 1993).

1.1.3 Distribución geográfica e información paleoambiental

El patrón de distribución de los quistes de dinoflagelados en sedimentos superficiales evidencia una mayor generación de estos en ambientes someros y su posterior transporte a sedimentos profundos (Dale et al, 2002). En sedimentos antiguos, se evidencia un patrón similar, al encontrarse un mayor registro de especies neríticas (Sluijs et al, 2005). Esta distribución evidencia la sensibilidad de los dinoflagelados a condiciones ambientales como:

- **Temperatura:** Esta variable puede afectar los valores de abundancia poblacional, promover el reemplazo de especies ya sea de termófilas a especies de aguas frías o inducir a la formación de quistes (Sluijs et al, 2005). Durante el Paleógeno, por ejemplo, valores muy bajos de diversidad de quistes, fueron considerados por Mohr (1990) como indicadores de temperaturas extremas bajas en sedimentos de la Antártica. La asociación de *Impagidinium aculeatum*, *Nematosphaeropsis leminscata* y *Pixidiniopsis sp* fue caracterizada como de aguas frías para el Pacífico Suroeste (Mc Minn et al, 2001), mientras que la asociación de *Operculodinium centrocarpum*, *Protoperidinium spp* y *Spiniferites mirabilis*, fue considerada indicadora de aguas cálidas en el mismo sector para el Plioceno Tardío (Mc Minn et al, 2001).
- **Salinidad:** Los dinoflagelados son más diversos en aguas marinas que en aguas dulces por lo que su número, diversidad e incluso morfología pueden ser indicadores de un ambiente estuarino y/o marino (Edwards, 1993). Algunas especies toleran amplios rangos de salinidad que se reflejan en cambios morfológicos ligeros e.g. en *Operculodinium centrocarpum* (Head et al, 1993; Edwards, 1993). Especies de los géneros *Deflandrea* y *Wetzeliiella* (peridinioides), han sido considerados como especies tolerantes a cambios de salinidad indicando así condiciones marinas restringidas, con alta disponibilidad de nutrientes y poca profundidad (Van Simaey, 2004).
- **Cambios del nivel del mar:** Los cambios del nivel del mar juegan un papel importante sobre la distribución de las asociaciones de dinoflagelados, lo que permite la reconstrucción paleobatimétrica y paleoambiental de depósitos asociados con procesos transgresivos y regresivos (Mc Carthy et al, 2003; Guasti, 2005; Sluijs et al, 2005). En relación con la batimetría, los quistes de especies actuales muestran dos

tendencias de distribución: 1) en sentido perpendicular a la línea de costa, en la que se reconocen especies asociadas con ambientes estuarinos, cerca de la costa, neríticos u oceánicos; y 2) en relación con patrones de circulación oceánica. Sin embargo, la mayor cantidad de quistes puede ser registrada en rocas de ambientes nerítico a batial superior (e.g. Edwards, 1993; Mc Carthy y Mudie, 1998; Dale et al, 2002; Mc Carthy et al, 2003; Sluijs et al, 2005). Brinkhuis (2002) argumenta que la ocurrencia de quistes es mayor costa afuera, por lo que son especialmente útiles para correlacionar secuencias sedimentarias proximales y distales. Entre los géneros que caracterizan condiciones oceánicas se encuentra *Impagidinium*, cuya presencia ha sido utilizada para indicar en el Paleoceno, ambientes oceánicos y oligotróficos en latitudes altas y medias, mientras que los géneros *Nematosphaeropsis* y *Tectatodinium*, en el Plioceno, indicarían ambientes neríticos a oceánicos (Sluijs et al, 2005)

1.1.4 Respuesta a la oferta de nutrientes

El fitoplancton como productor primario se encuentra afectado por la disponibilidad de nutrientes, en especial las especies autótrofas, las cuales presentan un crecimiento rápido de sus poblaciones en respuesta a una mayor oferta de NO_3 y PO_4 . Por su parte, especies heterótrofas registran de igual manera un incremento poblacional en relación al incremento de las autótrofas. Los dinoflagelados son utilizados como indicadores de sistemas actuales altamente productivos (e.g. Rojas de Mendiola, 1981) y paleosurgencias o alto aporte continental (Eshet et al, 1994). La estimación de paleoproductividad se ha basado en la relación entre los grupos Peridinales y Gonyaulacales (Índice P/G), asociando valores altos de este índice con sistemas eutróficos y valores bajos con sistemas oligotróficos (e.g. Eshet et al, 1994, Martínez, 2003). La utilización de especies que tienen un registro geológico reciente (especialmente desde el Neógeno) como son las especies de Proto-peridinales (heterótrofas con representantes recientes y actuales, e.g. *Lejeunecysta spp*), en relación con las Gonyaulacales, permite de igual manera estimar valores de productividad (Guasti et al, 2005); aunque la estimación de este índice puede verse afectado por otros parámetros como la temperatura (Parrish, 1998).

1.1.5 Los Dinoflagelados como herramienta bioestratigráfica

Los dinoquistes son excelentes herramientas bioestratigráficas debido a características como: 1) reducida variación latitudinal dentro de una provincia, 2) amplia ocurrencia en áreas depositacionales profundas y someras, 3) tasas rápidas de evolución; por tanto son útiles en la correlación de secuencias sedimentarias de aguas someras y fuera de la costa y en correlaciones locales y regionales (Van Simaey, 2004). La utilización de los dinoquistes como herramientas bioestratigráficas incluye sucesiones del Mesozoico y el Cenozoico para latitudes medias y altas del Hemisferio Norte, principalmente (e.g. Williams et al, 1993; De Verteuil y Norris, 1996).

La aplicación de las asociaciones de dinoflagelados ha permitido la caracterización de diferentes depósitos del Neógeno de latitudes altas del Atlántico y Pacífico (e.g. De Schepper, 2004; Head, 1996, 1997, 1998, 2000, 2003; Head y Westphal, 1999; Head y Norris, 2003; Head et al, 2004; Lowey, 1999, 2000, 2001, 2002; Lowey et al, 1999, 2004; Mc Carthy et al, 2003; Mc Carthy y Mudie, 1998; Mc Minn, 1991, 1992, 1993; Mc Minn et al, 2001), caracterización de facies costeras (Dybkjaer y Rasmussen, 2000), correlaciones secuenciales dentro de marcos estructurales (Katz et al, 2003; Rasmussen y Dybkjaer, 2005) y refinamiento de modelos de secuencias con base en palinofacies (Dybkjaer, 2004).

En latitudes bajas, los estudios bioestratigráficos con base en dinoflagelados se han centrado en la costa este de Venezuela (Helenes y Somoza, 1999) y se restringen a palinomorfos continentales y dinoflagelados para el Oligoceno-Mioceno (Helenes y Cabrera, 2003).

1.2 El Mar Caribe durante el Mioceno

Durante buena parte del Mioceno el Mar Caribe estuvo conectado con el Océano Pacífico Oriental, hasta que el levantamiento del Istmo de Panamá (Duque-Caro, 1990), un evento de carácter regional, cambió esta situación. Este evento afectó la circulación abierta entre las Cuencas Atlántica y Pacífica; y la consecuente interrupción del intercambio de aguas ocasionó cambio en los niveles de nutrientes en la zona de mezcla, así como en los patrones poblacionales de distribución y afinidad de los organismos marinos (e.g. Duque-Caro, 1990;

Coates et al, 1992; Collins et al, 1996; Haug y Tiedemann, 1998; Kameo y Sato, 2000; Roth et al, 2000).

Los diferentes pulsos tectónicos (Duque-Caro, 1999) restringirían de manera gradual la circulación profunda y media (Duque-Caro, 1999; Lear et al, 2003) generando un cambio de dirección de las corrientes en sentido oeste (figura 2; Collins et al, 1996)

El cierre final del Istmo se registraría hacia el Plioceno (3.7 -3.1 ma) evidenciado en la desaparición de afinidades en los foraminíferos entre el Caribe y el Pacífico (Duque-Caro, 1990) y la evidencia de una intensificación en la Corriente del Golfo, con base en nanofósiles y foraminíferos planctónicos (Coates et al, 1992).

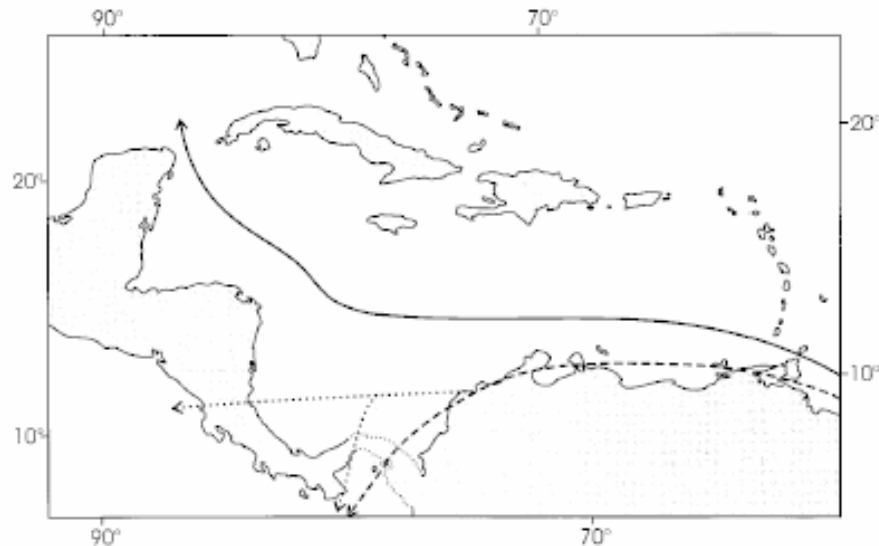


Figura 2. Circulación Superficial Pasada y Presente en la Región Caribe (Tomado de Collins et al, 1996) —> Corriente del Caribe Actual - - -> Principal Corriente en el Mioceno Tardío

Los efectos finales del cierre del Istmo de Panamá establecerían los actuales patrones de circulación en el Caribe, registrándose cambios en los sistemas de presión atmosférica y de vientos (Orange y Schulz, 2004) y la formación de la Corriente del Labrador (Haug y Tiedemann, 1998) favoreciendo así la intensificación de la glaciación en el Hemisferio Norte (3.1-2.5ma).

1.3 El Caribe Colombiano: ámbito tectónico y marco geológico

El Caribe Colombiano se extiende entre los 76° 50' W – 71° 50' W limitando con Panamá al oeste y al noreste con Venezuela, comprendiendo entre otras, la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena (VIM) y el margen continental de la Guajira (figura 3).

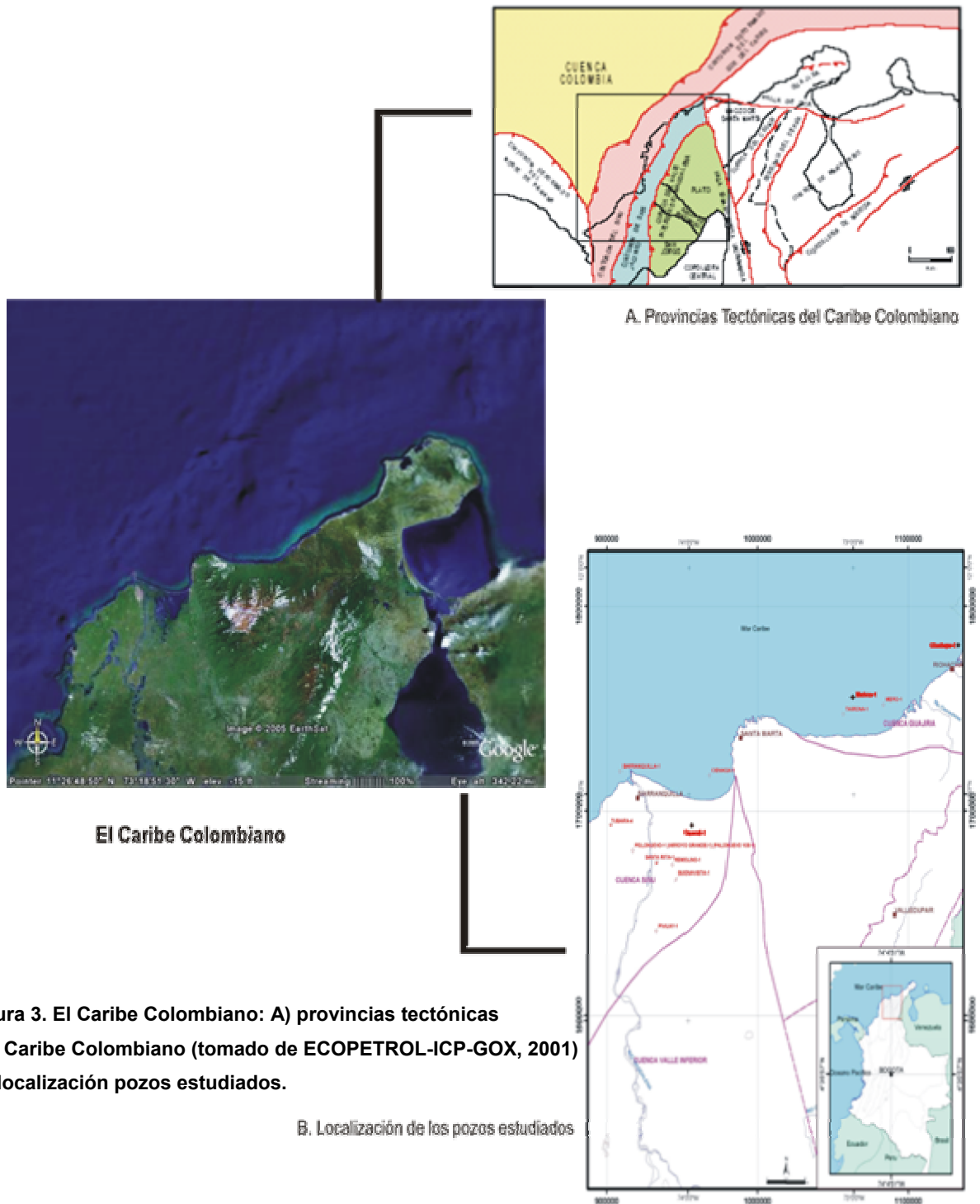


Figura 3. El Caribe Colombiano: A) provincias tectónicas del Caribe Colombiano (tomado de ECOPETROL-ICP-GOX, 2001) B) localización pozos estudiados.

Desde el punto de vista geológico, el Caribe Colombiano es el producto de la convergencia de tres placas: Nazca, Caribe y Sur América (Jordan, 1975). De acuerdo con Hernández et al (2003), las sucesiones sedimentarias del norte de Colombia corresponderían principalmente al intervalo Oligoceno - Mioceno Inferior, caracterizándose por depósitos continentales hacia el sector este y marinos someros hacia el oeste.

Sin embargo el registro de arenas basales depositadas durante el Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano, sugieren una circulación abierta en el área norte (figura 4) considerándose como parte de la Formación Ciénaga de Oro (Pince et al., 2003; Dueñas, 1986).

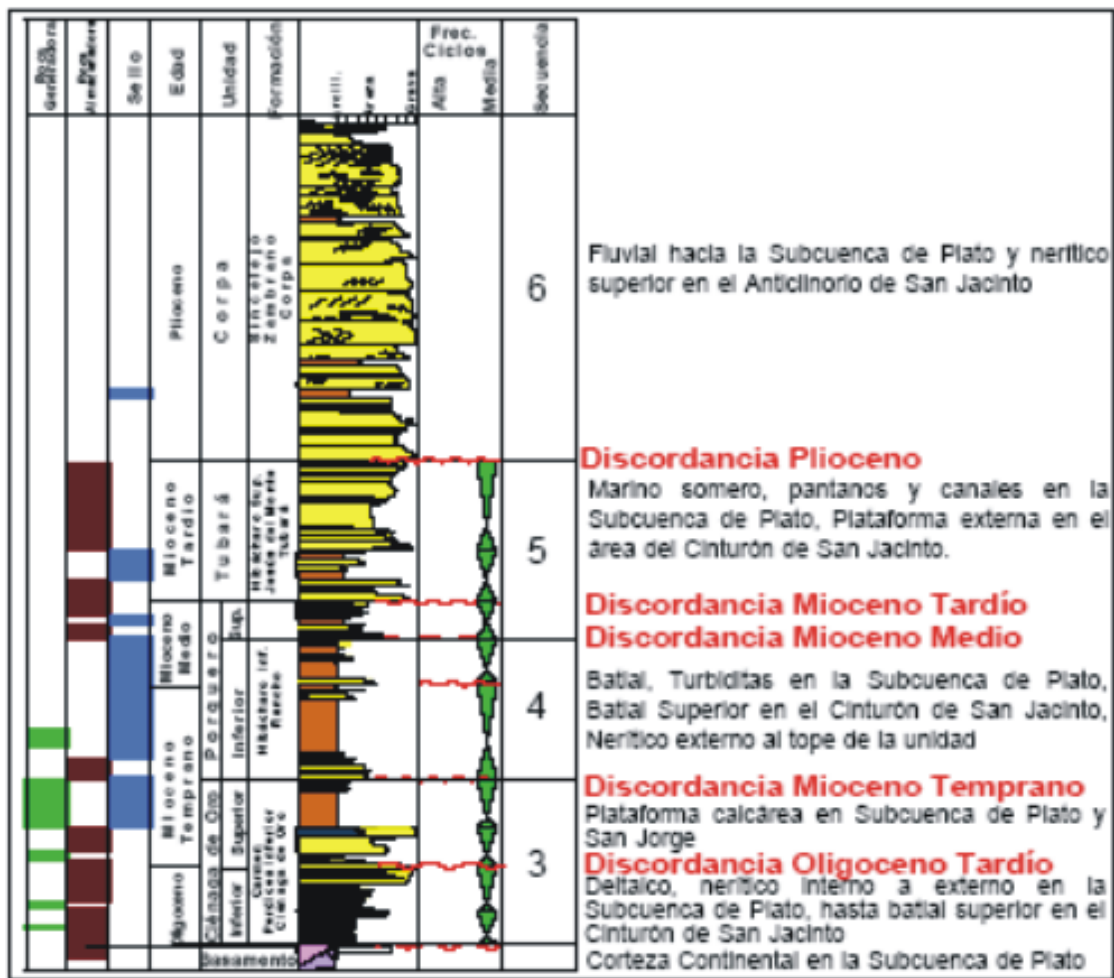


Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Valle Inferior del Magdalena (Tomado de Ecopetrol-ICP-GOX, 2001)

De igual manera, el desarrollo de calizas arrecifales y de plataforma al tope de la Formación Ciénaga de Oro (Altos de Cicuco, Alejandría, Apure y San Benito, entre otros), sugiere ambientes marinos someros (figura 4) en el Mioceno Temprano (Hernández et al., 2003; Reyes et al., 2004).

El registro de lodolitas con un alto contenido de foraminíferos, en la Formación Carmen – Zambrano (Oligoceno Superior – Mioceno Inferior) en la zona del Caribe Colombiano ha sido interpretado por Petters y Sarmiento (1956) como depósitos de circulación somera y profunda, respectivamente.

1.4 La Cuenca del Valle Inferior del Magdalena

Geológicamente la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena (VIM) está limitada al este por la Falla de Bucaramanga – Santa Marta (figura 3) que la separa de las rocas cristalinas de los macizos de Santa Marta y Santander; al sur, por las estribaciones de la Cordillera Central y la Falla de Palestina (cubierta por sedimentos Cuaternarios); hacia el norte y oeste con la Cuenca del Caribe Colombiano (Reyes et al., 2004).

Geológicamente se conocen 3 unidades estratigráficas:

Unidad Porquero Inferior (Mioceno Inferior - Mioceno Medio): Se caracteriza por el desarrollo de calizas arrecifales y de plataforma (figura 5) sobre los que se depositaron lodolitas (Reyes et al, 2004). La parte inferior de la unidad (figuras 4 y 5) presenta intercalaciones de sedimentos arcillosos con niveles arenosos asociados a turbiditas, depósitos interpretados como el producto de ambientes batiales (Reyes et al, 2004).

Simultáneamente, hacia la zona sur y sureste, en la Subcuencas de San Jorge y Plato, se encuentran depósitos de grano más grueso asociados con ambientes someros de plataforma, litorales y supralitorales (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001). El intervalo superior se caracteriza por depósitos de arenas finas en relación con ambientes someros con extensión de complejos de canales y abanicos submarinos al NW de la Subcuenca de Plato y ambientes de plataforma, litoral y sublitoral al sur y SE en las Subcuenca de San Jorge (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001). El límite superior de

la unidad, corresponde a la discordancia del Mioceno Medio que marcaría la somerización general de la cuenca durante este intervalo de tiempo (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001).

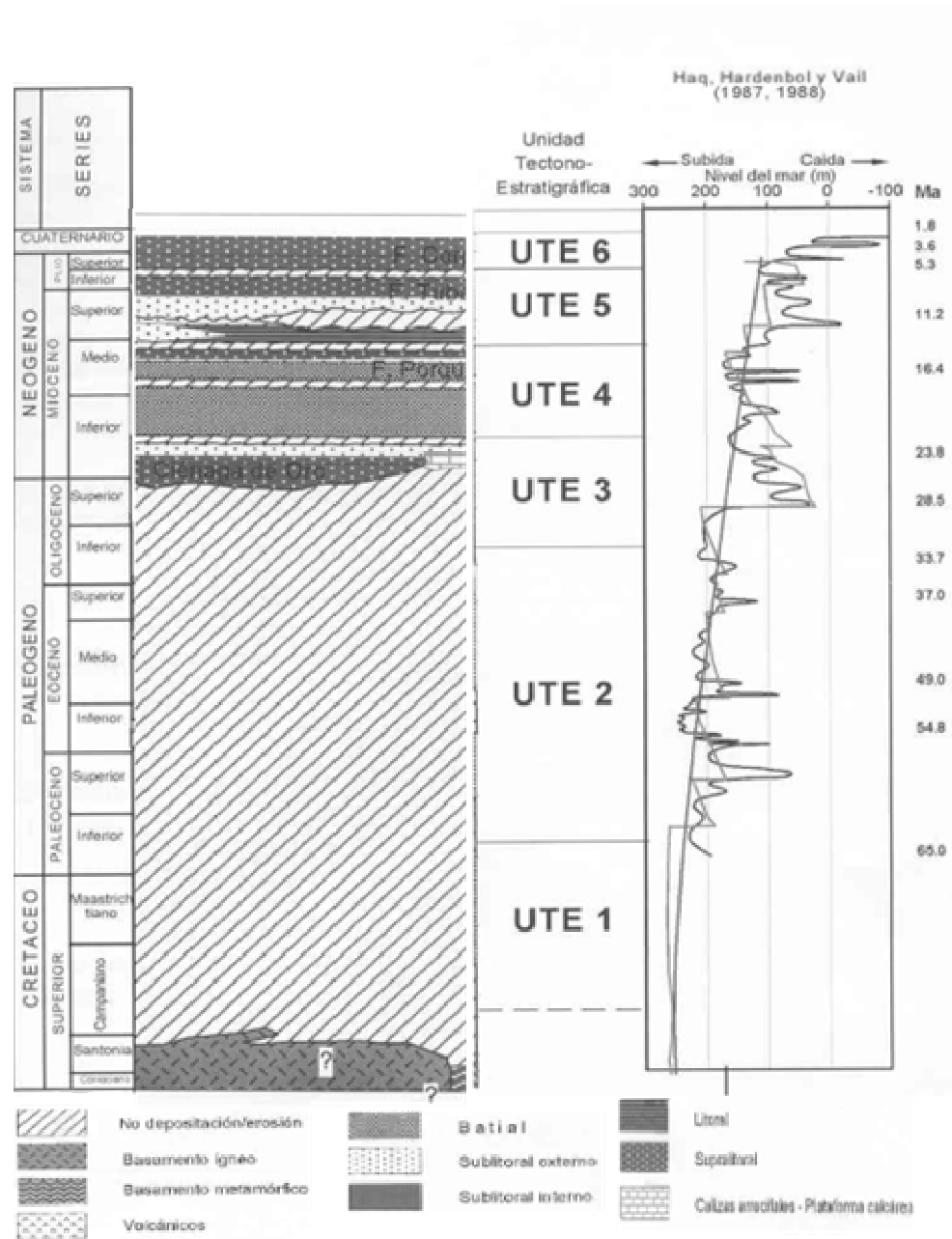


Figura 5. Modelo cronoestratigráfico y de ambientes de depósito. Cuenca Valle Inferior del Magdalena (modificado de Reyes et al, 2004). UTE=Unidad Tectono – Estratigráfica. Nótese la relación ente la UTE 4 con un incremento en la curva del nivel del mar y, las UTE 5 y UTE 6 con el descenso en el nivel del mar.

- **Unidad Porquero Superior (Mioceno Medio):** Esta unidad, constituida por depósitos arenosos intercalados con lodolitas es considerada de carácter netamente progradante, (figuras 4 y 5) interpretada como abanicos submarinos, depósitos de talud y hacia la parte superior, plataforma con depósitos de tormenta (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001). Con base en muestras de ripios y análisis bioestratigráficos, se han interpretado hacia el SW secuencias deltáicas con cuerpos arenosos progradantes (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001).

La interpretación de los registros sísmicos sugiere una plataforma continental asociada al desarrollo de una llanura deltáica, que se inicia al sureste de la Subcuenca de Plato. Se registra allí una dirección de transporte de sedimentos en sentido noreste y depósitos deltáicos que progradan hacia el noroeste y oeste. En la Subcuenca de San Jorge, la sísmica sugiere el desarrollo de una plataforma clástica con depósitos de frente de costa (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001)

- **Unidad Tubará (Mioceno Tardío –Plioceno Inferior):** Esta unidad suprayace a la Unidad Porquero e infrayace a la Unidad Corpa con contactos discordantes (figura 4). La discordancia inferior es atribuida al final de la Orogenia Andina, con base en el retrabajamiento de la fauna correspondiente a la unidad Porquero (Duque-Caro, 1996 en Ecopetrol-ICP-GOX, 2001). Los sedimentos de la unidad Tubará incluyen lodos hacia la base y arenitas medias a gruesas hacia el tope, siendo interpretados como producto de mares someros con influencia de tormentitas hacia la base y continentales hacia el tope, asociados a llanuras deltáicas de mayor extensión que en la unidad infrayacente. Los frentes deltáicos estarían localizados hacia el noroeste (Ecopetrol-ICP-GOX, 2001).

Del Valle Inferior del Magdalena se estudiaron los pozos Caracolí-1 y Santa Rita-1 (figura 3b) localizados en la Subcuenca de Sinú (costa adentro) (Chacón y Barón 2000) y el pozo Barranquilla-1 (figura 3b, el cual se encuentra al oeste de la desembocadura del Magdalena (costa afuera). Los intervalos estudiados incluyen las unidades Porquero Superior y Tubará.

1.5 Margen Continental de la Baja Guajira

La Cuenca de la Guajira, localizada al noreste de la Sierra Nevada de Santa Marta (figura 3), se diferencia de la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena por la ausencia de unidades litoestratigráficas de edad Maastrichtiano - Mioceno Temprano, por lo que se sugiere que este intervalo no se depositó y/o fue erodado (ECOPETROL-ICP-GER, 1998) o la existencia de una posible barrera en la paleocirculación entre la alta y la baja Guajira (Duque-Caro y Reyes, 1999). Duque –Caro y Reyes (1999) también sugieren que la Cuenca de la Guajira pudo estar dominada durante la parte más alta del Mioceno Temprano por sedimentación terrestre, con base en la ausencia de fósiles marinos en algunos pozos en el continente.

Así, los sedimentos que se reportan, se depositaron sobre una superficie inconforme y corresponden a sedimentos de arenitas cuarzosas, lodolitas y calizas (figura 6) de la Formación Jimol (Mioceno Temprano, Burdigaliano, a Mioceno Tardío) en paleoambientes que variaban de fluvial - plataforma interna, a batial superior (ECOPETROL-ICP-GER, 1998).

Sobreyaciendo a la Formación Jimol, se encuentran intercalaciones de arcillolita, limolita, arenisca (figura 6) y coquina de la Formación Castilletes (Mioceno Tardío – Plioceno) depositadas en un ambiente de plataforma externa a interna, observándose una tendencia general de somerización hacia el techo (ECOPETROL-ICP-GER, 1998). La Formación Castilletes se depositó durante el intervalo Mioceno Tardío a Plioceno (ECOPETROL-ICP-GER, 1998).

Duque-Caro y Reyes (1999) proponen que la parte alta del Mioceno Medio (zonas N13 a N14) en la Guajira, se caracterizaría por depósitos turbidíticos en un ambiente batial, basándose en la escasa ocurrencia de microfauna silíceo (radiolarios y foraminíferos arenáceos) y la ausencia de microfauna calcárea, lo cual asocian con la Crisis de Carbonatos del Caribe.

De igual manera, Duque-Caro y Reyes (1999) sugieren ambientes profundos, caracterizando la parte baja del Mioceno Superior basándose en fósiles calcáreos, registrándose una variación en el ambiente de depósito hacia la parte alta del Mioceno Superior a depósitos con fuerte influencia terrígena, ambiente que se continuaría hasta el intervalo Plioceno Inferior (Duque-Caro y Reyes, 1999).

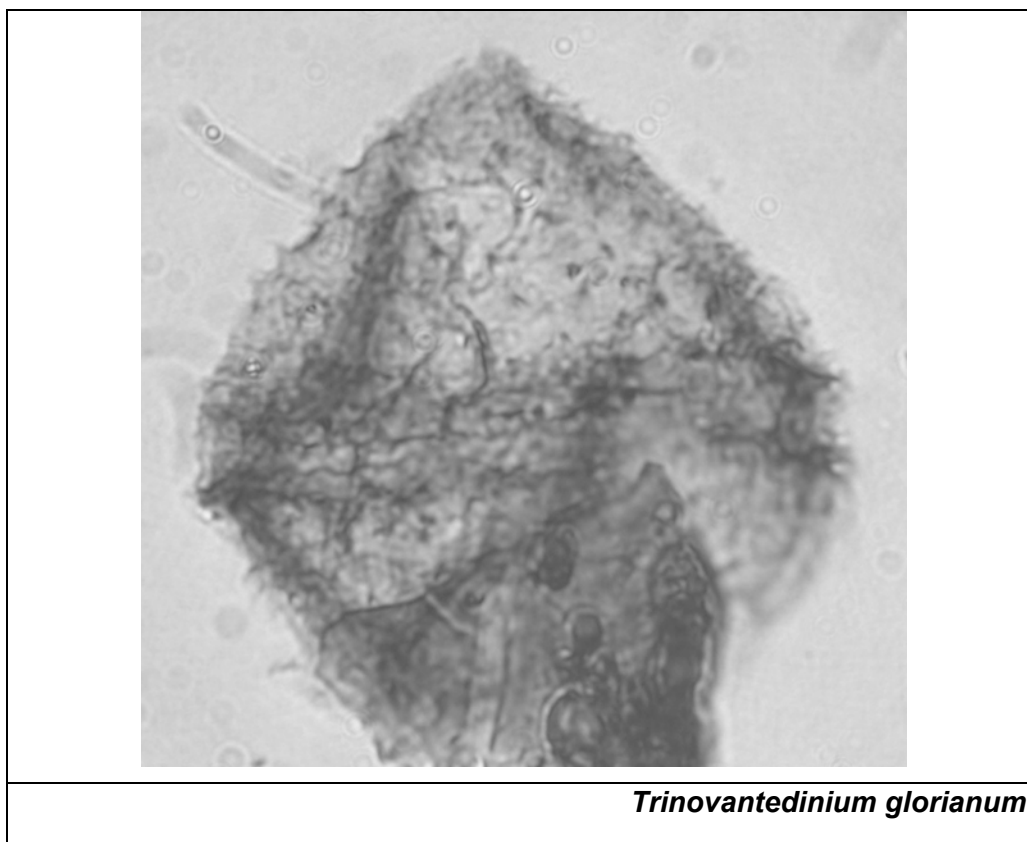
De la Baja Guajira se estudian los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1 (figura 3b), los cuales registran sedimentos de ambientes sublitorales a batiales en un rango de edad de Mioceno Temprano a Pleistoceno (Rubio y Ramírez, 1999). Los intervalos muestreados incluyen la parte alta de la Formación Jimol y la parte baja – media de la Formación Castilletes.

EDAD	ERA	PERIODO	EPOCA	FORMACION	LITOLOGIA	AMBIENTE	
1.8	CENOZOICO	CUATERNARIO		INDIFERENCIADO			
3.6		PLIOCENO	L Plioceno				
5.3			E Zancleano				
7.1		NEOGENO	MIOCENO	Messiniense	CASTILLETES	Caliza margosa, blanda de color castaño a marfil, a veces arcillosa y/o arenosa, fosilífera.	Marino muy somero
11.2				L Tortoniano			
14.8				Serravalliano			
16.4				M Langhiano	JIMOL	Caliza arenosa, arenisca calcárea, con arcilla blanda grisácea, fosilífera.	Marino somero
20.5				E Burdigalio			
		Aquitano	UITPA	Arcilla blanda de color castaño a gris, a veces selenítica, capas de arenisca y caliza fosilífera.	Nerítico a Marino profundo		

CONVENCIONES	
	Arcillolitas y Shales
	Areniscas
	Calizas
	Conglomerados
	Variaciones laterales de facies
	Calizas Arrecifales
	Rocas Igneas y Metamórficas
	Discordancia Regional
	Discordancia Local

Figura 6. Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca de la Baja Guajira para el intervalo Mioceno-Cuaternario (modificado de ECOPETROL-ICP-GER, 1998)

2. Métodos



2.1 Muestreo: Las muestras se colectaron de los ripios (zanja seca) de los pozos: Santa Rita-1, Caracolí-1, Barranquilla-1, Merluza-1 y Chuchupa-1 (tabla 1) almacenados en la Litoteca Nacional (Piedecuesta, Santander). De cada profundidad se tomaron 20 gramos para la preparación de los correspondientes montajes.

Tabla 1. Coordenadas de Localización de los Pozos utilizados

	Santa Rita-1	Caracolí-1	Barranquilla-1	Merluza-1	Chuchupa-1
Coordenada en X	933207,3125	916360,00	909150,00	1102071,00	11349500,00
Coordenada en Y	1670700,000	1693080,00	17192500,00	17753560,00	1799310,00

Nota: Coordenadas con origen en Bogotá

Valle Inferior del Magdalena: El criterio de selección de las muestras se basó inicialmente en la estimación del Mioceno Medio con base en la secuencia

bioestratigráfica compuesta de foraminíferos obtenida con GRAPHCOR y tomando como referencia el pozo Caracolí-1 (Cuartas, 2005). Un segundo muestreo se realizó con base en la biozonación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, 2005, en prep.) considerando profundidades por debajo del tope de *G. venezuelana* (tabla 2).

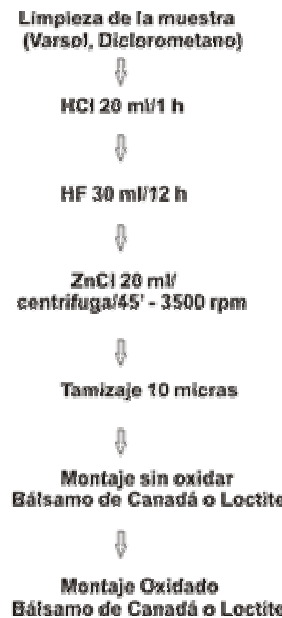
Costa Afuera: El criterio de selección de las muestras para el pozo Barranquilla-1 fue el mismo que el usado en los pozos del VIM. Los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1 se muestrearon con base en la biozonación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, 2005, en prep.), al igual que en el VIM (tabla 2).

Tabla 2. Intervalos de Muestreo Pozos VIM - Offshore

	Santa Rita-1	Caracolí-1	Barranquilla-1	Merluza-1	Chuchupa-1
Intervalo Graphcor	1080' – 3670' Muestras c/370'	1080' – 2688' Muestras c/201'	6140'-8370' Muestras c/320'		
Intervalo Biozonación Foraminíferos ICP		2300' – 3030' Muestras c/60'	8500' – 9790' Muestras c/60'	7580' – 9660' Muestras c/100'	5000' – 5490' Muestras c/60'
Total de Muestras	8	21	30	19	9

2.2 Preparación de las placas palinológicas: Las placas palinológicas se prepararon en el Laboratorio de Muestras Geológicas del ICP (figura 7) según la metodología de AMOCO, Houston, USA (ICP, 1995).

Figura 7. Metodología de preparación de muestras palinológicas en el ICP.



La preparación se basa en la acidificación con HCl (37%) de 20 gramos de sedimento seco, seguido de un segundo ataque con HF (70%) con posterior separación de la materia orgánica con ZnCl y limpieza del mismo con HCl (10%), obteniéndose una primera muestra para montar en el Bálsamo de Canadá. Un segundo montaje en Bálsamo de Canadá se realiza posterior al proceso de oxidación con HNO₃ al baño maría (figura 7).

2.3 ..Conteo y Clasificación de Dinoflagelados: El conteo estándar de palinomorfos es de aproximadamente 500 granos/muestra (Traverse, 1988). Sin embargo, Fatela y Taborda (2002) consideran que un conteo ~100 granos/muestra es estadísticamente representativo en un gran número de estudios paleoceanográficos. En este estudio el conteo incluyendo polen, dinoflagelados, esporas y microforaminíferos se realizó en su totalidad, es decir se contó el total de granos de cada grupo en la placa, esto debido al escaso recobro de los palinomorfos en las muestras y que no alcanzaron a sumar 300 granos/muestra.

Previa a la clasificación, se realizó inicialmente una caracterización de los morfotipos presentes en las placas. La clasificación de los morfotipos de dinoflagelados se hizo con base en publicaciones científicas referentes a la taxonomía de dinoflagelados del Mioceno al Reciente: Evitt (1985), De Schepper et al (2004), De Verteuil y Norris (1992, 1996), De Vernal et al (1992), Head (1993, 1996, 1997, 1998, 2000), Head y Westphal (1999), Head y Norris (2003), Head y Wrenn (1992), Head et al (2004), Helenes y Cabrera (2003), Lowey (1999, 2000, 2001, 2002), Lowey et al (1999, 2004), Dybkjaer (2004), Dybkjaer y Rasmussen (2000), Matsuoka (1983), Matsuoka y Head (1992), Rochon et al (1999).

En el caso del polen, se buscaron los palinomorfos: *Cyclusphaera scabrata*, *Spirosincolpites spiralis*, *Echitricolporites maristellae*, *Multimarginites vanderhammenii*, *Grimsdalea magnaclavata*, *Crasoretritiletes vanraadshooveni*, y *Echitricolporites spinosus* con el fin de reconocer las zonas del Mioceno utilizadas en el ICP (Jaramillo y Rueda, 2004). El control de la determinación de los palinomorfos terrestres la realizó el Palinólogo Milton José Rueda (ICP). La determinación de las especies de dinoflagelados reportadas fue revisada por Martin J. Head PhD. (Brock University, AASP).

2.4 Análisis Estadístico: Con base en la clasificación y conteo, se realizaron las siguientes estimaciones.

- **Índice Peridinales/Gonyaulacales**
P/G = Peridinales – Gonyaulacales/ Peridinales + Gonyaulacales
(Lewis et al, 1990)
- **Índice de Diversidad Shannon-Wiener**

$$H = - \sum_{j=1}^s P_j \ln P_j$$

Shannon y Weaver (1949)

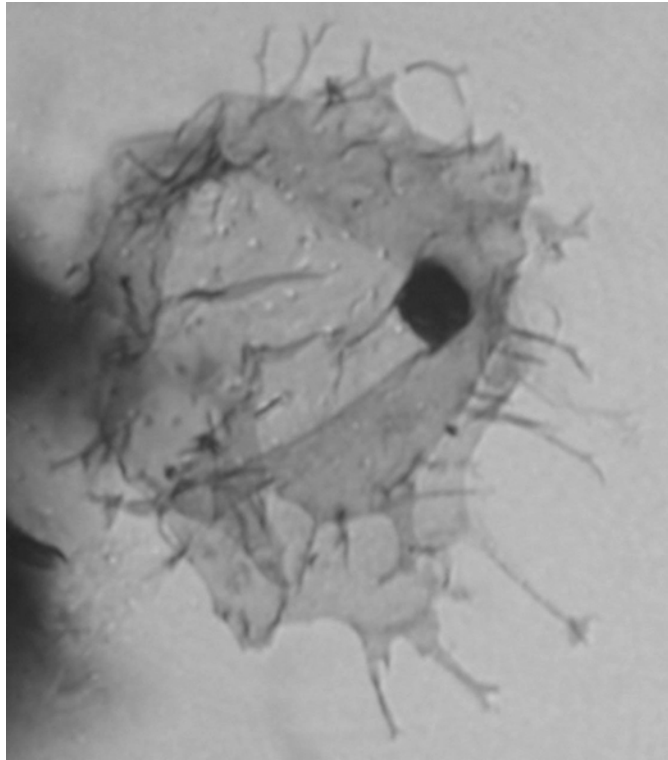
H = Diversidad

P_i = Total de individuos de la especie i en la muestra

Esta estimación se realizó con el software R y los gráficos correspondientes se trabajaron en SPSS.12.

- **Cartas de Distribución Bioestratigráfica:** Los gráficos de distribución se elaboraron con el software Stratabugs V.1.8. (Data Management Software for Biostratigraphers) utilizado por el ICP.

4. Bioestratigrafía



Selenopemphix dionaeacysta

Como se mencionó, debido al bajo recobro de quistes en las muestras, se tomó la abundancia total de quistes en la placa para la estimación de la diversidad, así como la elaboración de las cartas de distribución en cada pozo.

4.1 Pozo Santa Rita-1

Acorde con la zonificación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, en prep., versión Junio/05), las muestras analizadas se encuentran, según la profundidad (figura 9), ubicadas en la zona de *Globigerinoides obliquus* (Plioceno – Reciente), destacándose que en este pozo se presenta la ocurrencia, a los 1080', de los topes de *G. obliquus*, *G. venezuelana*, *G. fohsi fohsi* y *G. fohsi peripheroronda* (D. Rincón com. pers.).

Conforme al seguimiento de palinomorfos terrestres, se encontró que *Grimsdalea magnaclavata* se registró a lo largo del intervalo muestreado y la co-existencia de *G. magnaclavata* y *Crassoretritiletes vanraadshooveni* hacia el tope del intervalo.

Se registraron cuatro asociaciones de dinoflagelados (figura 9), dos por encima del tope del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos, una incluyendo dicho límite superior, y la última dentro del intervalo considerado:

- **Intervalo 4040' – 3300'**: Incluye la única aparición de *Palaeocystodinium* sp para este pozo; como acompañantes se reportan *Operculodinium* sp, *Achomosphaera* / *Spiniferites* spp, *Operculodinium centrocarpum*, *Achomosphaera* sp y *Polysphaeridium zoharyi*.
- **Intervalo 3300' – 2560'**: Incluye las únicas ocurrencias de *Spiniferites solidago* y *Lejeunecysta* sp1 en este pozo; como acompañantes se encuentran *Operculodinium centrocarpum*, *Operculodinium* sp, *Achomosphaera-Spiniferites* spp, *Operculodinium centrocarpum* / *O. israelianum* cpx, *Polysphaeridium zoharyi* y *Quinquecuspis concreta*.
- **Intervalo 2560' – 1820'**: Incluye las únicas ocurrencias para este pozo de *Lejeunecysta cinctoria*, *Achomosphaera* sp, *Distatodinium* sp y *Lejeunecysta fallax*. Como acompañantes se encuentran: *Operculodinium centrocarpum*, *Achomosphaera-Spiniferites* spp, *Operculodinium centrocarpum* / *O. israelianum* cpx, *Polysphaeridium zoharyi* y *Quinquecuspis concreta*.
- **Intervalo 1820' – 1080'**: Incluye *Operculodinium centrocarpum* / *O. israelianum* cpx, *Operculodinium* sp, *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera-Spiniferites* spp y las únicas ocurrencias de *Lejeunecysta hatterasensis* y *Polysphaeridium* sp en este pozo.

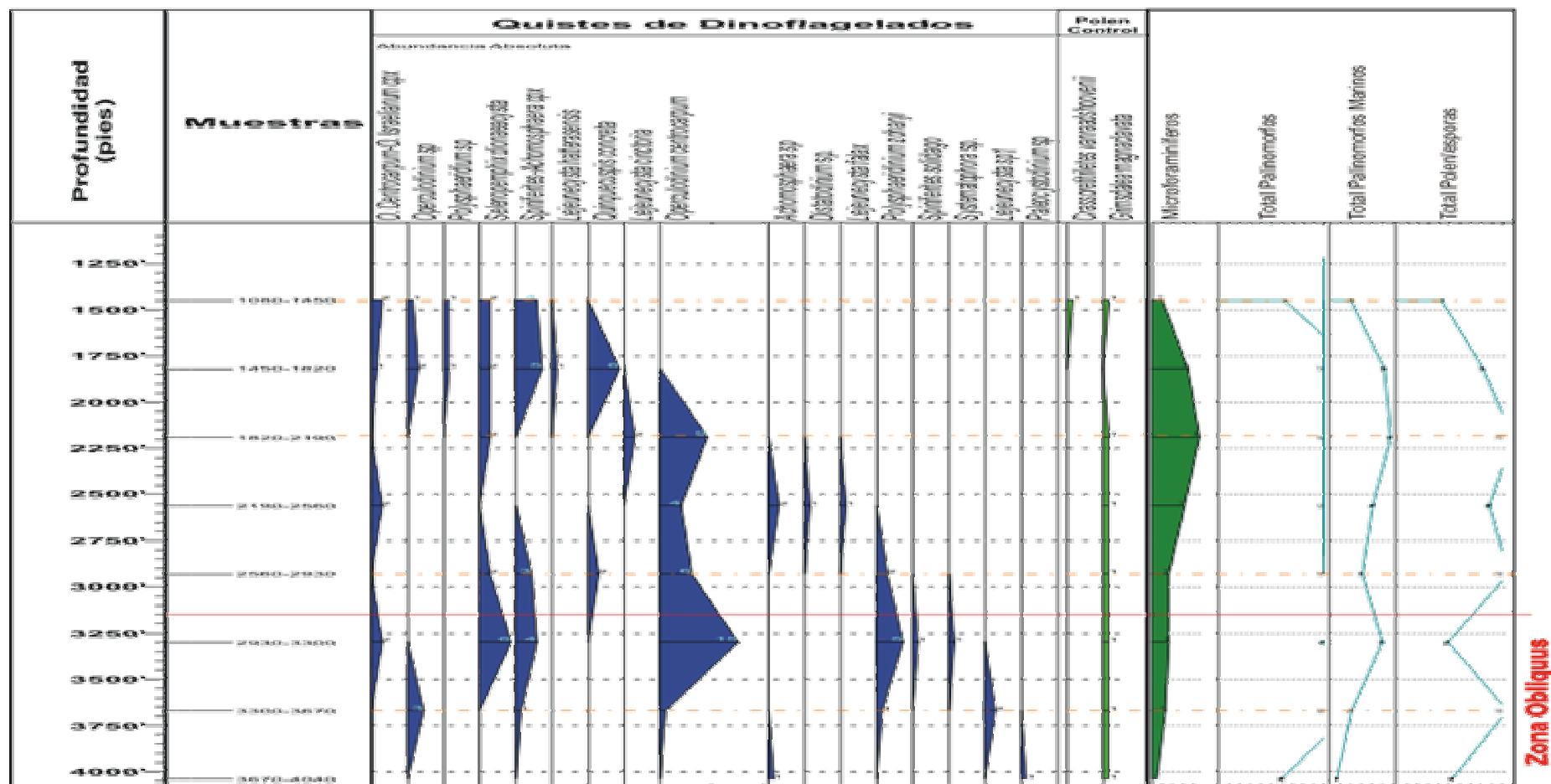


Figura 9. Distribución de las abundancias totales de dinoflagelados del Pozo Santa Rita-1. En línea discontinua naranja se presentan los intervalos de los principales eventos de dinoflagelados, en línea continua roja se presenta el tope del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos. Las líneas al extremo derecho de la figura, representan los totales de microfossiles, total palinomorfos, polen/esporas, total palinomorfos marinos, respectivamente.

El mínimo de abundancia fue de 2 quistes (muestra a 3670') y el máximo de 34 quistes (muestra a 2930'). Este último, se vio influenciado por la presencia de *Operculodinium centrocarpum* con 15 granos/muestra (figura 10).

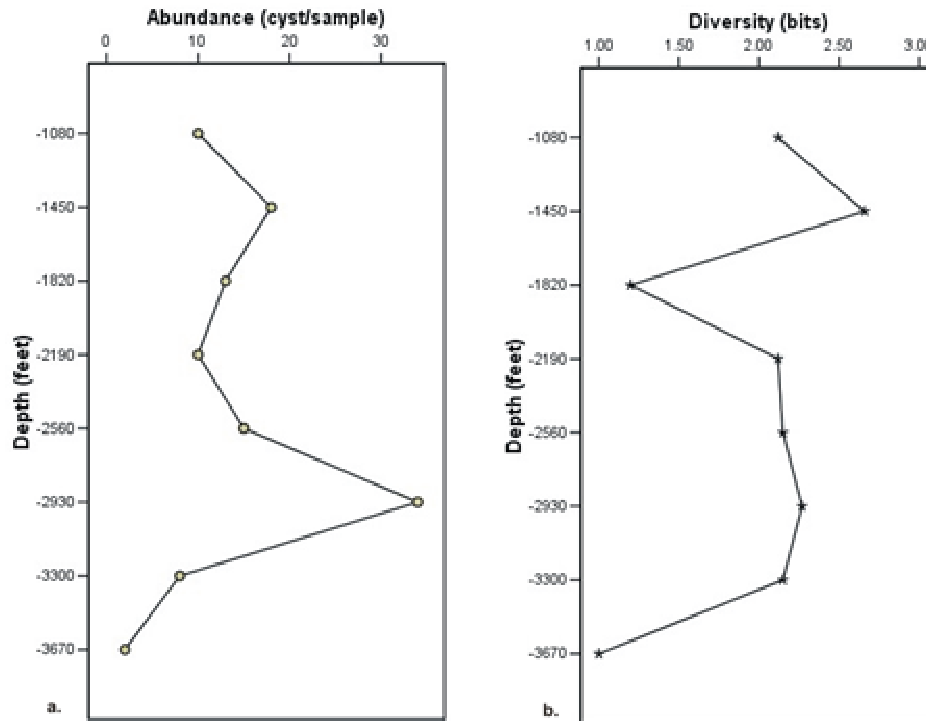


Figura 10. Comportamiento de: abundancia (a) y diversidad (b) del Pozo Santa Rita-1.

La diversidad registró valores entre 1 y 2,66, encontrándose el máximo valor hacia la parte media del intervalo estratigráfico considerado (figura 10; 2190'), nuevamente influenciado por la presencia de especies del género *Operculodinium*. Teniendo en cuenta que el índice de diversidad se reporta en un rango entre 0 y 5, se concluye que la diversidad es media para este pozo.

4.2 Pozo Caracolí-1

Siguiendo la zonación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, en prep.), las muestras analizadas se encuentran ubicadas en la parte alta de la zona *G. fohsi* (Mioceno Medio Alto) y toda la zona *G. venezuelana* (Mioceno Superior – Plioceno; figura 11).

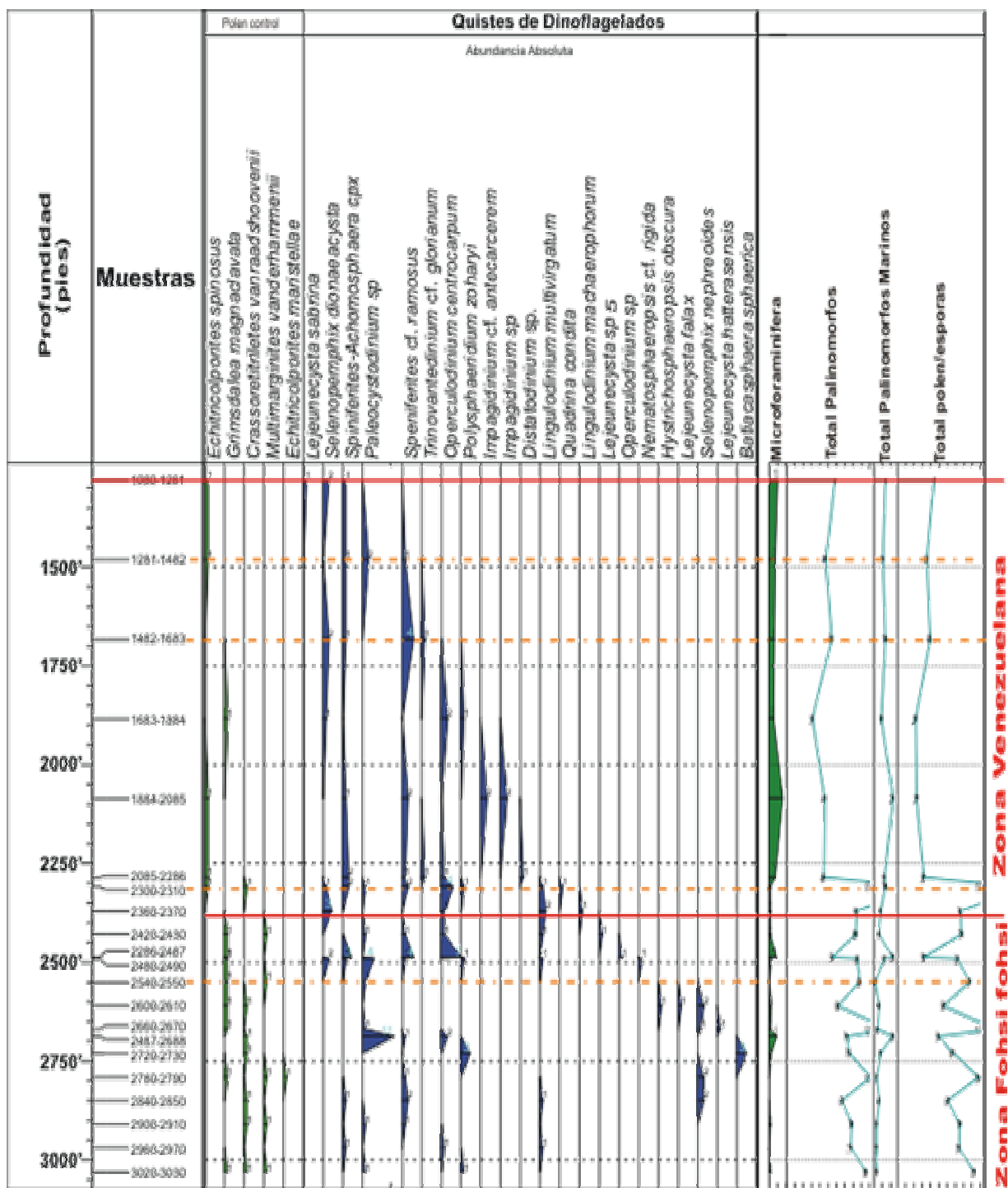


Figura 11. Distribución de abundancias totales de dinoflagelados del Pozo Caracolí-1. En línea discontinua naranja se presentan los intervalos de los principales eventos de dinoflagelados, en línea continua roja se presenta los topes de las zonas de *G. venezuelana* y *G. fohsi fohsi*. Las curvas al extremo derecho representan los totales de microforaminiferos, total de palinomorfos, total de polen/esporas y total de palinomorfos marinos, respectivamente.

El control con base en polen, registró la presencia de *Echitricolporites spinosus* entre 2790' – 1080', *C. vanraadshooveni*, de manera esporádica entre 3200' - 2300', *G. magnaclavata* entre 3030' –1683', *Multimarginites vanderhammenii* entre 3030' – 2420' es igualmente esporádico.

Se registraron cinco asociaciones de dinoflagelados, tres dentro de la zona *G. venezuelana* y dos en la zona *G. fohsi fohsi* (figura 11), así:

- **Intervalo 3030' – 2540':** Incluye las únicas apariciones para este pozo de *Hystrichospaheropsis obscura*, *Lejeunecysta fallax*, *Lejeunecysta hatterasensis* y *Batiacasphaera sphaerica*, así como la última aparición de *Selenopemphix nephroides*, acompañados de *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Palaeocystodinium* sp, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Polysphaeridium zoharyi* y *Operculodinium centrocarpum*.
- **Intervalo 2540' –2300':** Incluye la última ocurrencia de *Lingulodinium multivirgatum* y la única aparición de *Nematosphaeropsis* cf. *rigida* para este pozo, acompañados de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Palaeocystodinium* sp, *Operculodinium centrocarpum*, *Polysphaeridium zoharyi* y *Trinovantedinium* cf. *glorianum*.
- **Intervalo 2300' – 1482':** Incluye las únicas apariciones para este pozo de *Impagidinium* cf. *antecarcerem*, *Impagidinium* sp y *Distatodinium* sp, acompañados de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Operculodinium centrocarpum* y *Trinovantedinium* cf. *glorianum*.
- **Intervalo 1482' – 1281':** Incluye la última aparición de *Trinovantedinium* cf. *glorianum* para este pozo, acompañado de *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Palaeocystodinium* sp, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Selenopemphix dionaeacysta* y *Operculodinium centrocarpum*.
- **Intervalo 1281' – 1080':** Incluye la única aparición de *Lejeunecysta sabrina* para este pozo, acompañado de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Palaeocystodinium* sp y *Spiniferites* cf *ramosus*.

El mínimo de abundancia fue de 1 y el máximo de 15 quistes/muestra asociándose el mayor valor a *Palaeocystodinium sp* (11 quistes/muestra; figura 12). La diversidad registró valores entre 0 y 2,67 (figura 12). El valor máximo nuevamente está en relación con especies del género *Operculodinium*. El valor mínimo se registró en relación con el menor valor de abundancia de todo el intervalo (2540'), correspondiendo a la especie *Palaeocystodinium sp* (figura 12).

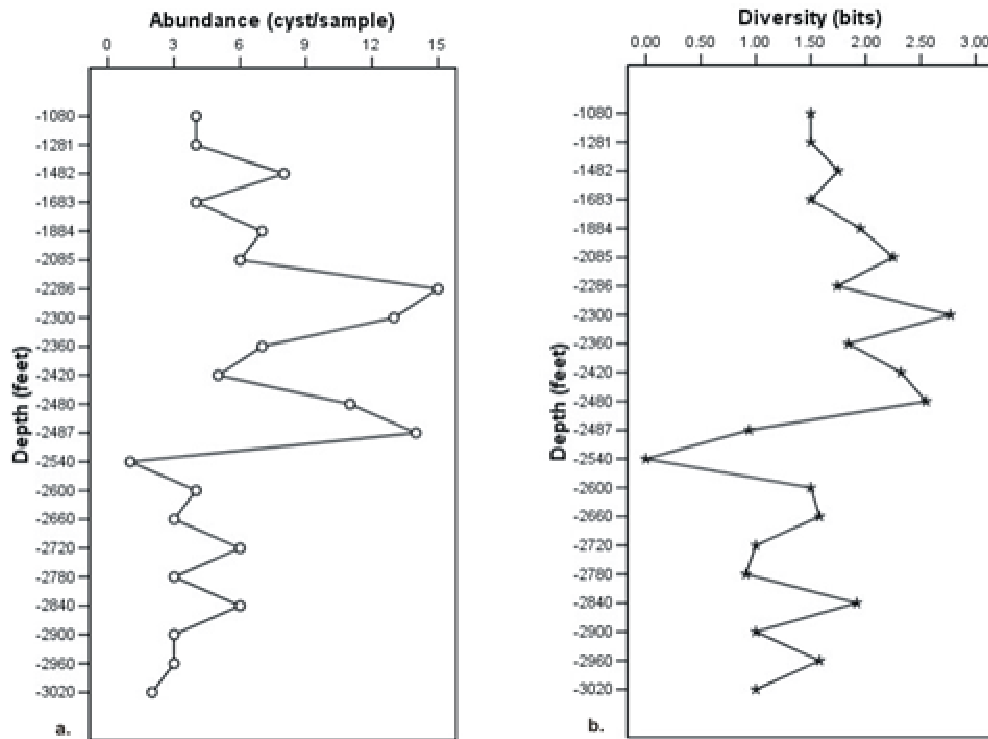


Figura 12. Patrón de abundancia (a) y diversidad (b) del Pozo Caracolí-1. Se destaca la similitud en los perfiles, especialmente entre 2540' – 2085'.

4.3 Pozo Barranquilla-1

Conforme a la zonificación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, en prep.), las muestras analizadas se encuentran ubicadas en las zonas de: *G. fohsi peripheroronda* (Mioceno Medio), *G. fohsi fohsi* (Mioceno Medio Alto) y *G. venezuelana* (Mioceno Superior – Plioceno; figura 13). El reconocimiento del polen evidenció: la ocurrencia de *Grimsdalea maganclavata* entre 6780' - 7734'; la ocurrencia de *Crassoretitiletetes vanraadshooveni* entre 8560' – 8980' co-ocurriendo con el único registro de *Spirosincolpites spiralis* (8740'); *Echitricolporites maristellae* se encontró entre 8860' - 9410' y *Cicatricosisporites dorigensis* a los 9720'

El control con base en polen, registró la presencia de *Echitricolporites spinosus* entre 2790' – 1080', *C. vanraadshooveni*, de manera esporádica entre 3200' - 2300', *G. magnaclavata* entre 3030' –1683', *Multimarginites vanderhammenii* entre 3030' – 2420' es igualmente esporádico.

Se registraron cinco asociaciones de dinoflagelados, tres dentro de la zona *G. venezuelana* y dos en la zona *G. fohsi fohsi* (figura 11), así:

- **Intervalo 3030' – 2540':** Incluye las únicas apariciones para este pozo de *Hystrichospaheropsis obscura*, *Lejeunecysta fallax*, *Lejeunecysta hatterasensis* y *Batiacasphaera sphaerica*, así como la última aparición de *Selenopemphix nephroides*, acompañados de *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Palaeocystodinium* sp, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Polysphaeridium zoharyi* y *Operculodinium centrocarpum*.
- **Intervalo 2540' –2300':** Incluye la última ocurrencia de *Lingulodinium multivirgatum* y la única aparición de *Nematosphaeropsis* cf. *rigida* para este pozo, acompañados de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Palaeocystodinium* sp, *Operculodinium centrocarpum*, *Polysphaeridium zoharyi* y *Trinovantedinium* cf. *glorianum*.
- **Intervalo 2300' – 1482':** Incluye las únicas apariciones para este pozo de *Impagidinium* cf. *antecarcerem*, *Impagidinium* sp y *Distatodinium* sp, acompañados de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Operculodinium centrocarpum* y *Trinovantedinium* cf. *glorianum*.
- **Intervalo 1482' – 1281':** Incluye la última aparición de *Trinovantedinium* cf. *glorianum* para este pozo, acompañado de *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Palaeocystodinium* sp, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Selenopemphix dionaeacysta* y *Operculodinium centrocarpum*.
- **Intervalo 1281' – 1080':** Incluye la única aparición de *Lejeunecysta sabrina* para este pozo, acompañado de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *Palaeocystodinium* sp y *Spiniferites* cf *ramosus*.

El mínimo de abundancia fue de 1 y el máximo de 15 quistes/muestra asociándose el mayor valor a *Palaeocystodinium sp* (11 quistes/muestra; figura 12). La diversidad registró valores entre 0 y 2,67 (figura 12). El valor máximo nuevamente está en relación con especies del género *Operculodinium*. El valor mínimo se registró en relación con el menor valor de abundancia de todo el intervalo (2540'), correspondiendo a la especie *Palaeocystodinium sp* (figura 12).

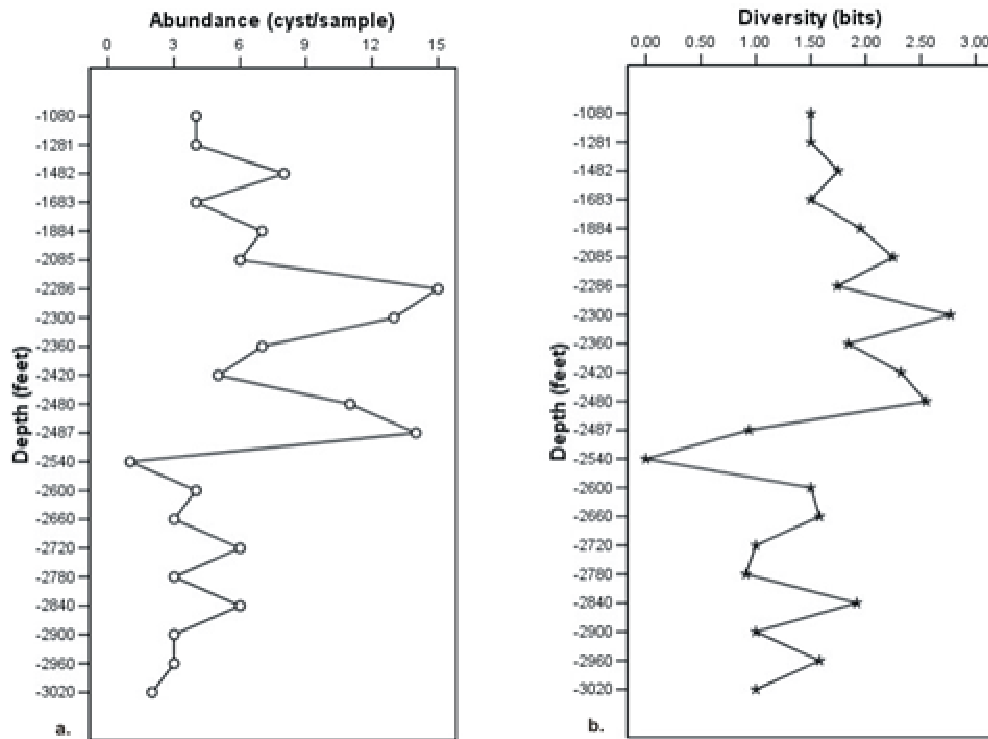


Figura 12. Patrón de abundancia (a) y diversidad (b) del Pozo Caracolí-1. Se destaca la similitud en los perfiles, especialmente entre 2540' – 2085'.

4.3 Pozo Barranquilla-1

Conforme a la zonificación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, en prep.), las muestras analizadas se encuentran ubicadas en las zonas de: *G. fohsi peripheroronda* (Mioceno Medio), *G. fohsi fohsi* (Mioceno Medio Alto) y *G. venezuelana* (Mioceno Superior – Plioceno; figura 13). El reconocimiento del polen evidenció: la ocurrencia de *Grimsdalea maganclavata* entre 6780' - 7734'; la ocurrencia de *Crassoretitilettes vanraadshooveni* entre 8560' – 8980' co-ocurriendo con el único registro de *Spirosincolpites spiralis* (8740'); *Echitricolporites maristellae* se encontró entre 8860' - 9410' y *Cicatricosisporites dorigensis* a los 9720'

Se registraron seis asociaciones de dinoflagelados, dos dentro de la zona de *G. venezuelana*, una en la zona *G. fohsi fohsi* y dos en la zona *G. fohsi peripheroronda* (figura 13), así:

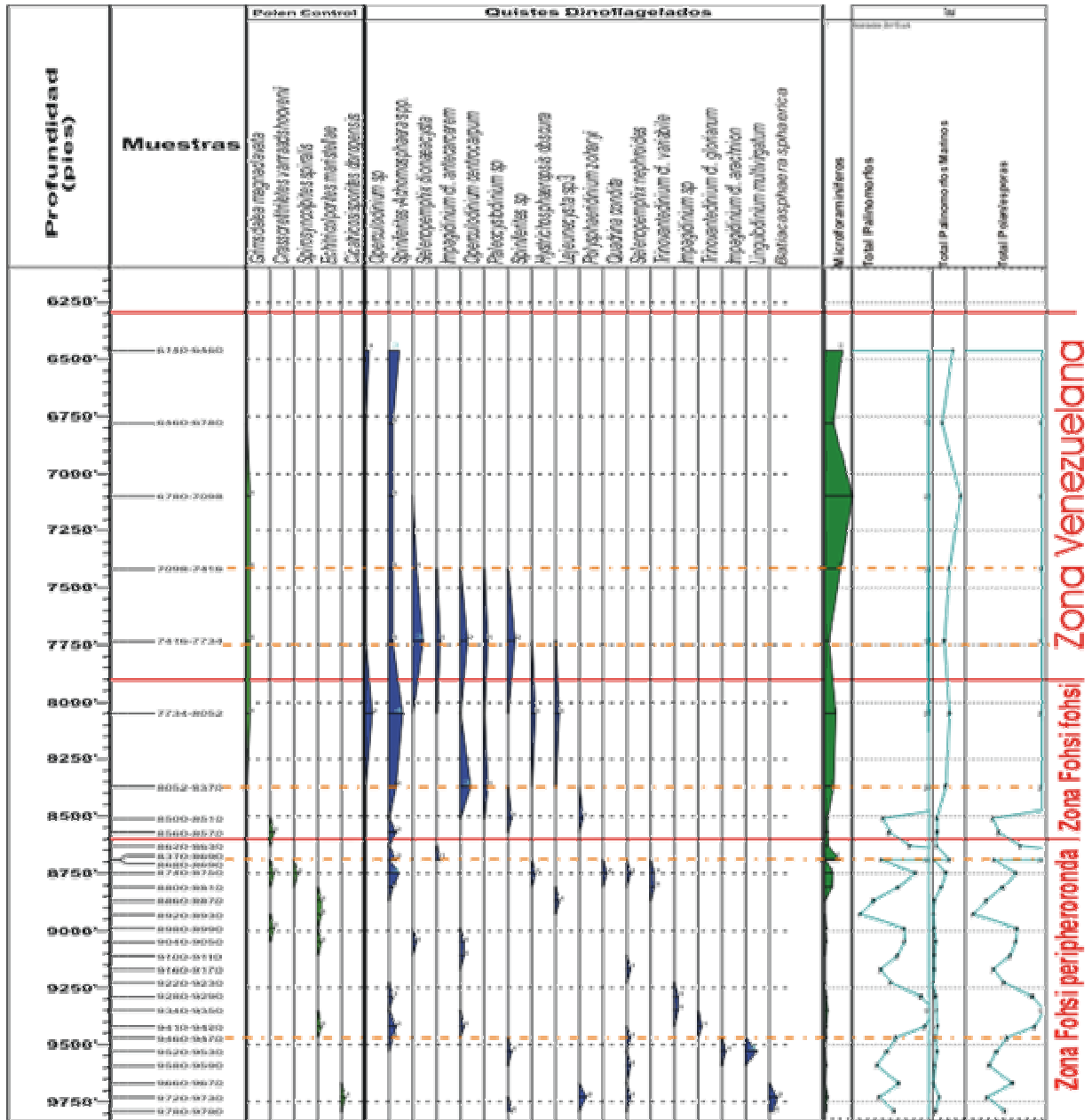


Figura 13. Distribución de abundancias totales de dinoflagelados del Pozo Barranquilla-1. En línea discontinua naranja se presentan los intervalos de los principales eventos de dinoflagelados, en línea continua roja se presentan los topes de las zonas de *G. fohsi peripheroronda*, *G. fohsi fohsi* y *G. venezuelana*. Las curvas al extremo derecho representan el total de microforaminíferos, total palinomorfos, total palinomorfos marinos, total polen/esporas, respectivamente.

- **Intervalo 9790' – 9460'**: Incluye las únicas apariciones en el pozo de *I. cf. arachnion*, *L. multivirgatum* y *B. sphaerica*, acompañados de *Palaeocystodinium* sp, *Spiniferites* sp y *S. nephroides*.
- **Intervalo 9420' – 8370'**: Incluye para este pozo las únicas ocurrencias de *Q. condita*, *Impagidinium* sp, *T. cf. glorianum* y *T. cf. variabile* así como la última ocurrencia de *S. nephroides* y las primeras ocurrencias de *O. centrocarpum* y *S. dionaeacysta*, acompañados de *Achomosphaera/Spiniferites* spp.
- **Intervalo 8370' – 8052'**: Incluye para este pozo, la última aparición de *P. zoharyi* y la primera aparición de *Palaeocystodinium* sp, acompañados de *O. centrocarpum* y *S. dionaeacysta*, *Achomosphaera/Spiniferites* spp.
- **Intervalo 8052' – 7418'**: Incluye las últimas apariciones de *H. obscura* y *Lejeunenecysta* sp3 para este pozo, acompañados de *Operculodinium* sp, *Achomosphaera/Spiniferites* spp, *O. centrocarpum* y *S. dionaeacysta*.
- **Intervalo 7418' – 7098'**: Incluye las últimas ocurrencias para el pozo de *I. cf. antecarcerem*, *O. centrocarpum*, *Palaeocystodinium* sp y *S. cf. ramosus*, acompañados de *S. dionaeacysta* y *Achomosphaera/Spiniferites* spp.
- **Intervalo 7098' – 6140'**: Incluye las especies *Operculodinium* sp, *Achomosphaera/Spiniferites* spp y *Selenopemphix dionaeacysta*.

El pozo Barranquilla-1 registra los menores valores de abundancia en relación con los otros pozos. Es conspicua la presencia de muestras estériles (figura 14) y un marcado incremento en el recobro de palinomorfos terrestres. La abundancia varió entre 0 y 10 quistes/muestra (figura 14), asociándose el máximo con la especie *Selenopemphix dionaeacysta* (3 quistes/muestra) a 7416'. La diversidad registró valores entre 0 y 2,44 (figura 14), con el máximo influenciado por la ocurrencia de *S. dionaeacysta*.

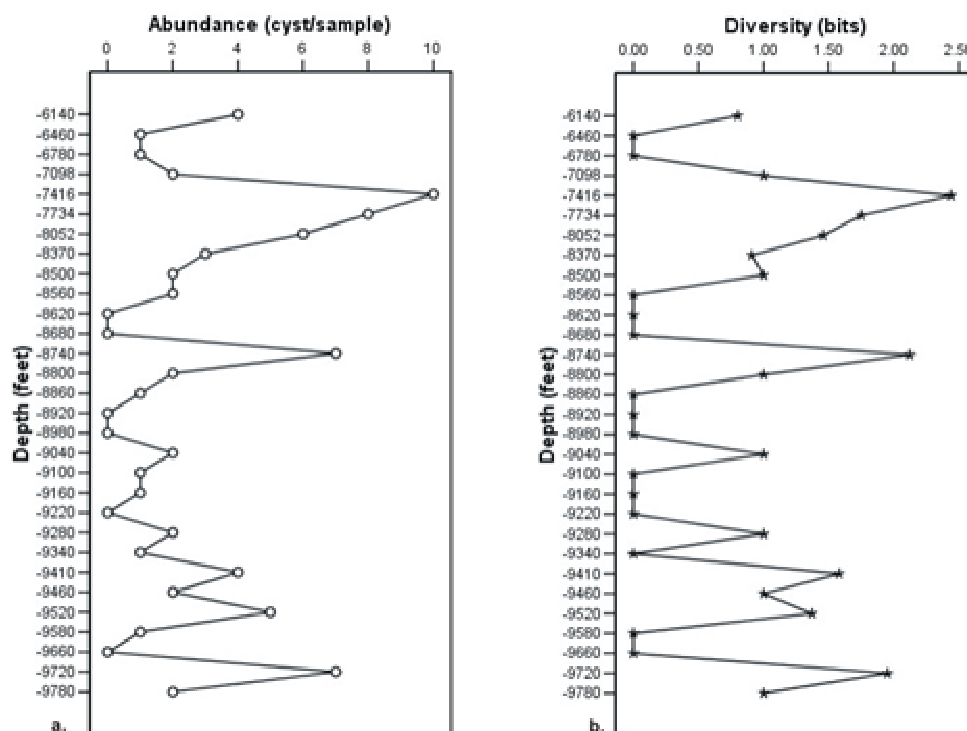


Figura 14. Patrón de abundancia (a) y diversidad (b) del Pozo Barranquilla-1. Nótese la similitud en las curvas en relación con valores altos entre 8052' – 7096' y 8860' – 8680'.

4.4 Pozo Merluza-1

Según la zonación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, en prep.), las muestras analizadas se encuentran (figura 15), ubicadas en las zonas *G. fohsi peripheroronda* (Mioceno Medio Alto) y *G. venezuelana* (Mioceno Superior - Plioceno) para la mayoría del intervalo muestreado. Entre los palinomorfos terrestres se registra la presencia de *G. magnaclavata* en casi la totalidad de las profundidades, especialmente entre 9450 – 9660', mientras que *Crassoretriletetes vanraadshooveni* ocurre esporádicamente a partir de los 8350'. *Echitricolporites spinosus* se registró entre 7580' - 9050' aunque de manera esporádica a lo largo del intervalo.

Se registraron cuatro asociaciones de dinoflagelados dentro de la zona de *G. venezuelana* (figura 15), y una para la zona de *G. fohsi peripheroronda*, así:

- **Intervalo 9660' – 9460'**: Incluye las únicas ocurrencias de *Hystrichokolpoma* sp, *Impagidinium* sp, *L. hatterasensis* y *Lejeunecysta* sp6; la aparición de *L. cinctoria*, *L. sabrina*, *Achomosphaera* sp y *Labyrhintodinium* sp, acompañados de *L. mahaerophorum*, *S. nephroides*, *S. cf. ramosus*, *Spiniferites* sp y *T. cf. variabile*.

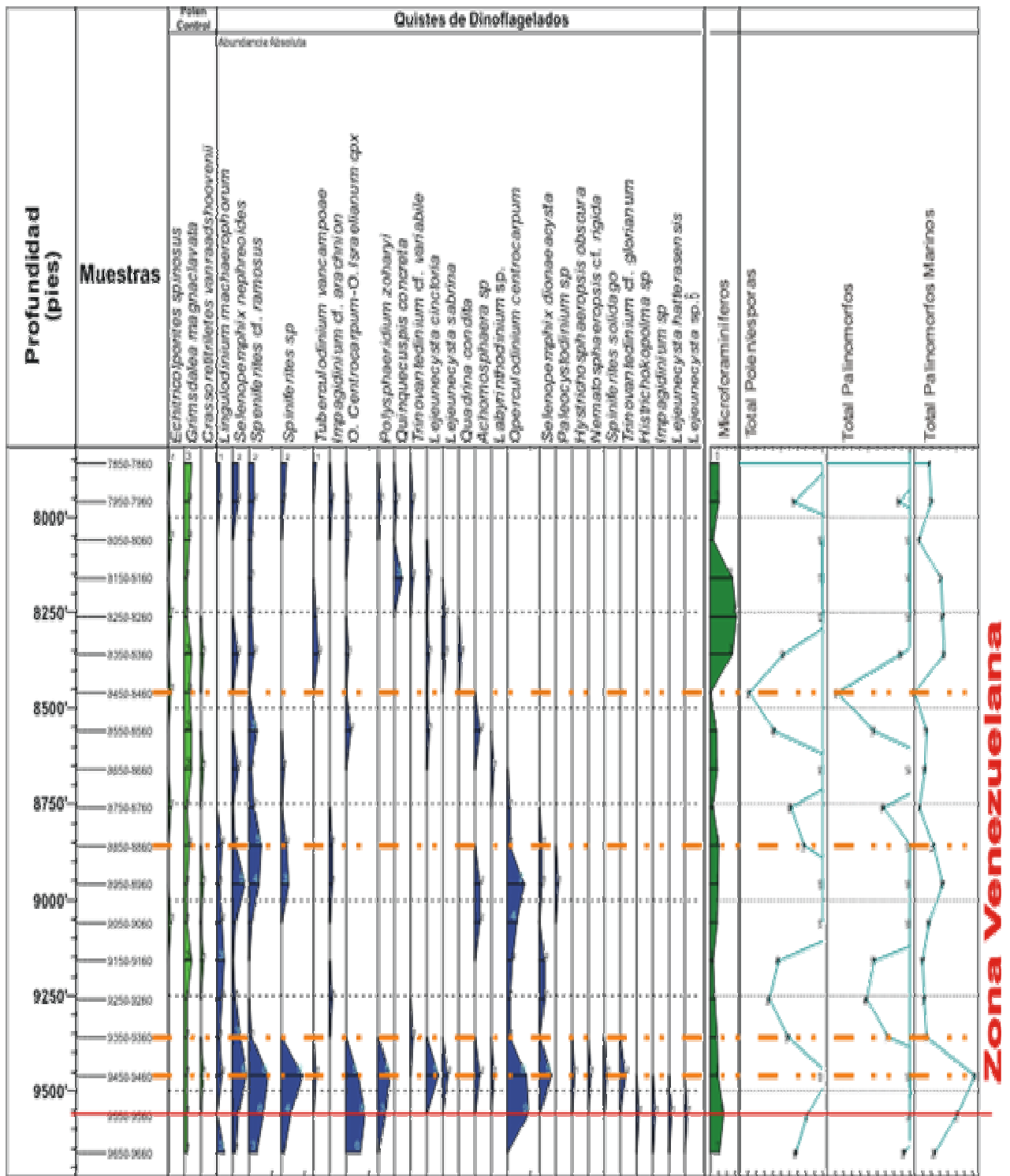


Figura 15. Distribución de dinoflagelados del Pozo Merluza-1. En línea discontinua naranja se presentan los intervalos de los principales eventos de dinoflagelados, en línea continua roja se presenta la base de la zona *G. venezuelana*. Las curvas al extremo derecho representan los totales de microforaminíferos, total de polen/esporas, total de palinomorfos y total de palinomorfos marinos, respectivamente.

- **Intervalo 9460' – 9350':** Incluye las últimas ocurrencias de *H. obscura*, *N. cf. rigida*, *S. solidago* y *T. cf. glorianum* acompañados de *L. machaerophorum*, *S. nephroides*, *S. cf. ramosus*, *Spiniferites* sp, *T. cf. variabile*, *T. vancampoae*, *O. centrocarpum*/*O. israelianum* cpx, *P. zoharyi*, *Q. concreta* y *Achomosphaera* sp.
- **Intervalo 9350' – 8860':** Incluye la última aparición de *Palaeocystodinium* sp para el pozo, acompañado de *L. machaerophorum*, *S. nephroides*, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Spiniferites* sp, *Achomosphaera* sp, *O. centrocarpum* y *S. dionaeacysta*.
- **Intervalo 8860' – 8450':** Incluye las últimas ocurrencias de *S. dionaeacysta* y *Labyrhintodinium* sp, acompañados de *L. machaerophorum*, *S. nephroides*, *Spiniferites* cf. *ramosus*, *Spiniferites* sp, *I. cf. arachnion*, *L. cinctoria*, *O. centrocarpum*, *O. centrocarpum*/*O. israelianum* cpx y *Achomosphaera* sp.
- **Intervalo 8450' – 7860':** Incluye las primeras ocurrencias para el pozo de *L. sabrina* y *Q. condita* acompañados de *L. machaerophorum*, *S. nephroides*, *S. cf. ramosus*, *Spiniferites* sp, *T. vancampoae*, *I. cf. arachnion*, *O. centrocarpum*/*O. israelianum* cpx, *P. zoharyi*, *Q. concreta*, *T. cf. variabile* y *L. cinctoria*.

El pozo Merluza-1 registra los mayores valores de abundancia para este estudio (hasta 64 quistes/muestra); sin embargo, se encontró un nivel con nulo recobro de dinoflagelados a 8450' (figura 16). Las mayores abundancias se asociaron con *Operculodinium centrocarpum* (8 quistes/muestra). La diversidad varió entre 0 y 3,71 siendo este el valor mayor registrado para el estudio, asociado al máximo de abundancia en el intervalo e influenciado por la especie *O. centrocarpum* (figura 16).

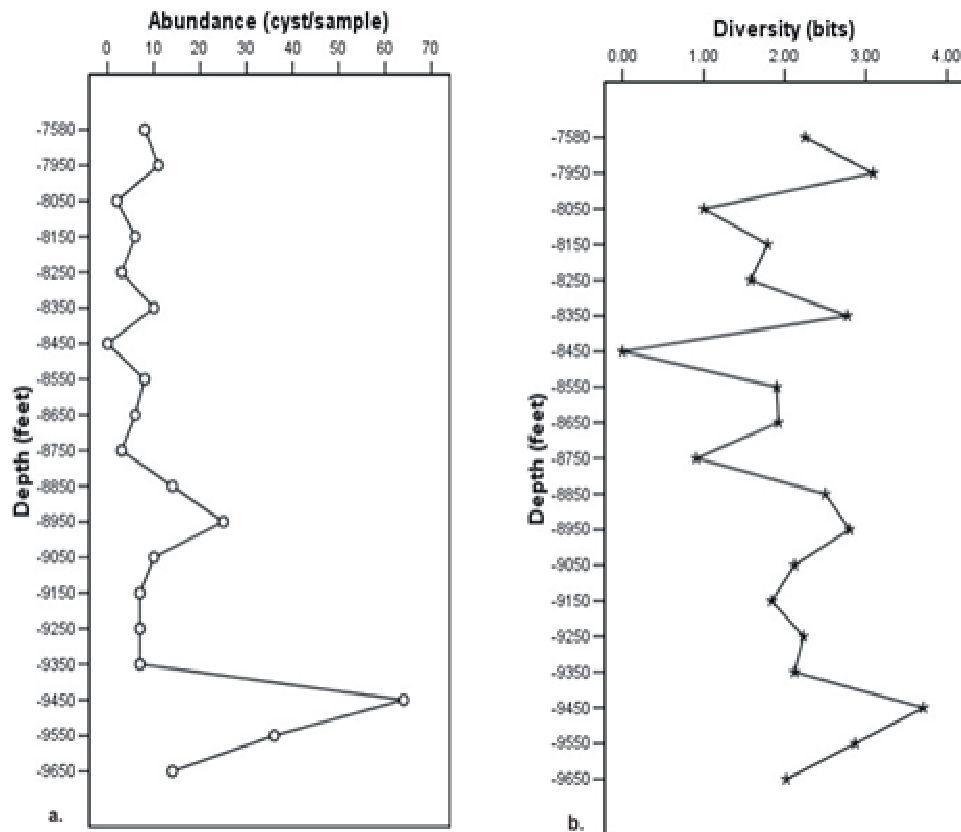


Figura 16. Patrón de abundancia (a) y diversidad (b) del Pozo Merluza-1. Nótese la ocurrencia de los máximos para las dos variables entre 9350' – 9550'

4.5 Pozo Chuchupa-1

Según la biozonación de foraminíferos planctónicos (Rincón et al, en prep.), las muestras analizadas se encuentran (figura 17), ubicadas en las zonas: *G. fohsi fohsi* (Mioceno Medio alto) y *G. venezuelana* (Mioceno Superior - Plioceno). El palinomorfo terrestre *Grimsdalea maganclavata* ocurre en todas las muestras, mientras que *Crassorettilites vanraadshooveni* ocurre entre 5420' – 5460' y *Echitricolporites spinosus* solo de manera esporádica a lo largo del intervalo.

Se registraron tres asociaciones de dinoflagelados, dos dentro de la zona *G. venezuelana* (figura 17), y una para la zona *G. fohsi fohsi* así:

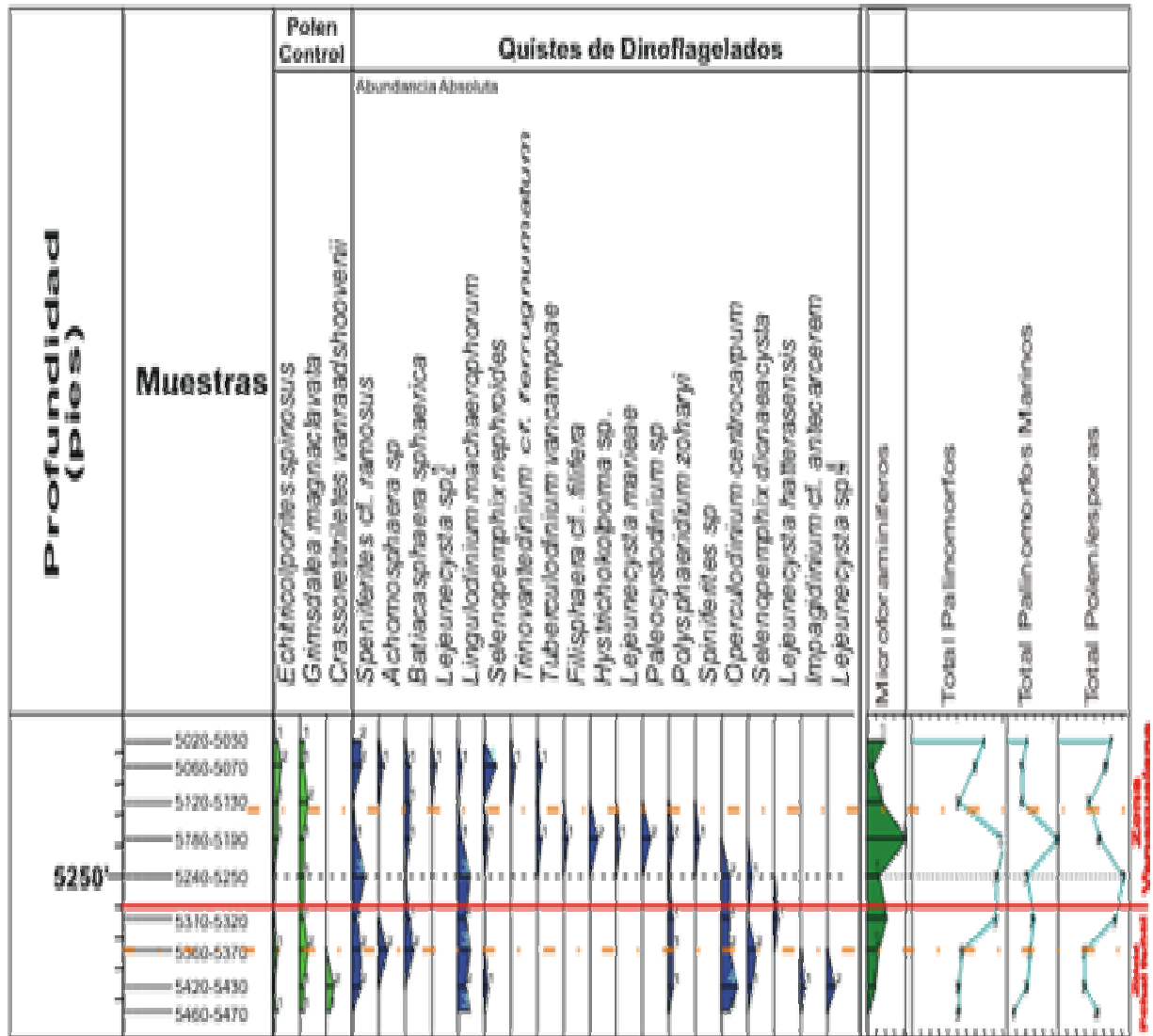


Figura 17. Distribución de abundancias totales de dinoflagelados del Pozo Chuchupa-1. En línea discontinua naranjal se presentan los intervalos de los principales eventos de dinoflagelados, en línea continua roja se presenta la base de la zona *G. venezuelana* y tope de la zona *G. foysi foysi*. Las curvas al extremo derecho corresponden al total de microfossilos, total de palinomorfos, total palinomorfos marinos, total polen/esporas, respectivamente.

- **Intervalo 5470' – 5360':** Incluye los únicos registros de *I. cf. antecarcerem* y *Lejeunecysta* sp4 en el pozo, acompañados de *S. cf. ramosus*, *Achomosphaera* sp, *B. sphaerica*, *L. machaerophorum*, *S. nephroides*, *P. zoharyi*, *O. centrocarpum* y *S. dionaeacysta*.

- **Intervalo 5360' – 5120':** Incluye el único registro de *F. filifera* para el estudio, las únicas ocurrencias en el pozo de *Hystrichokolpoma* sp, *L. mariae*, *Palaeocystodinium* sp y la primera ocurrencia de *L. hatterasensis*, acompañados de *S. cf. ramosus*, *Achomosphaera* sp, *B. sphaerica*, *L. macharophorum*, *S. nephroides*, *P. zoharyi*, *Spiniferites* sp, *O. centrocarpum* y *S. dionaeacysta*.
- **Intervalo 5120' – 5020':** Incluye las únicas apariciones en todo el estudio de *Lejeunecysta* sp2 y *T. cf. ferrugnumatum* acompañados de *S. cf. ramosus*, *Achomosphaera* sp, *B. sphaerica*, *L. machaerophorum*, *S. nephroides* y *T. vancampoae*.

La abundancia de dinoflagelados varía entre 0 y 14 quistes/muestra (figura 18) sin que sea notoria la influencia de alguna especie en particular. La diversidad varía entre 0 y 3,39 (figura 18).

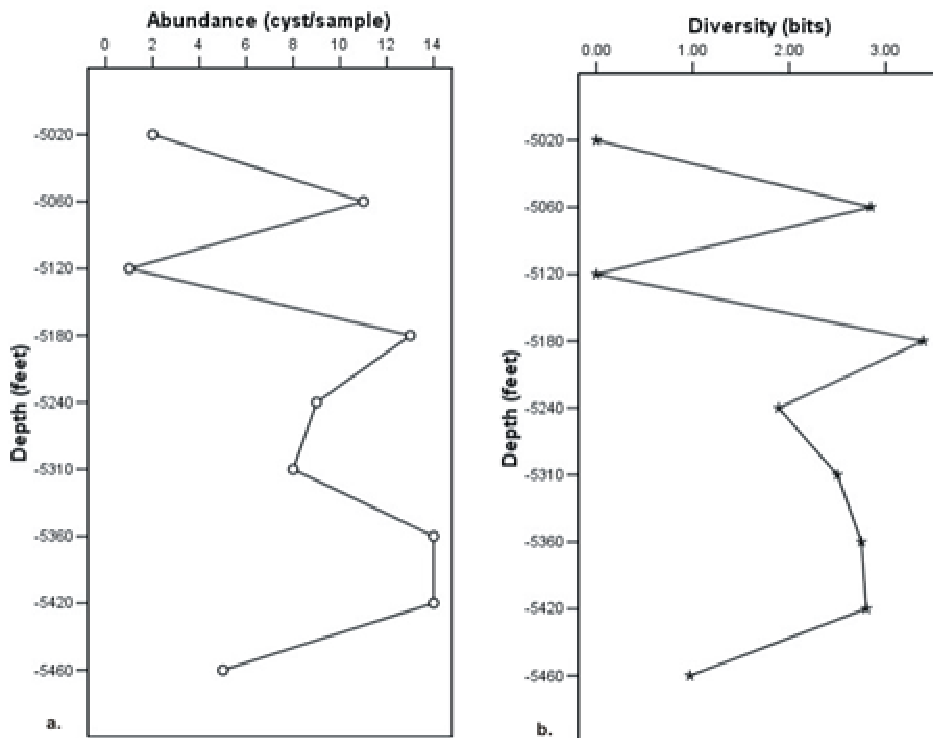


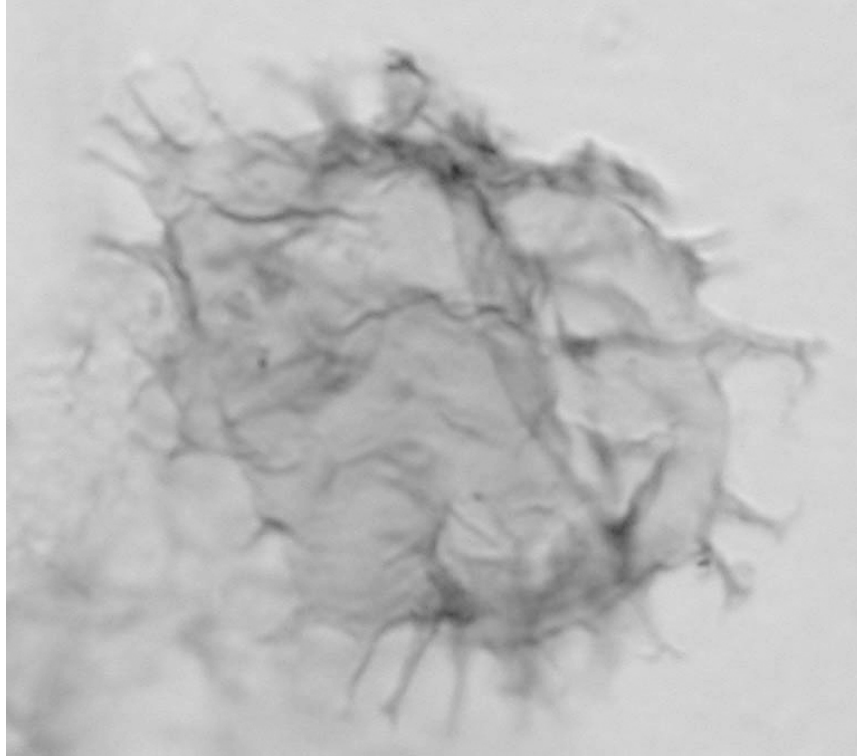
Figura 18. Patrón de abundancia (a) y diversidad (b) del Pozo Chuchupa-1. Nótese la ocurrencia de valores altos para las dos variables a 5180'.

En el Valle Inferior del Magdalena se destaca una mayor ocurrencia del grupo Gonyaulacales de los géneros *Operculodinium* y *Spiniferites* para los intervalos muestreados, correspondientes a las unidades Porquero Superior y Tubará.

En la Baja Guajira, se resalta nuevamente el registro de Gonyaulacales del género *Operculodinium*, especialmente hacia el tope de los intervalos muestreados en la Formación Jimol, aunque con valores no tan altos como en el VIM. Por otra parte; se registra un incremento en el grupo de Peridinales.

El recobro de Peridinales y en especial de la familia Congruentidiceae en el VIM, pudo estar afectado dadas sus características morfológicas, especialmente debido a su pared delgada siendo así afectados tanto en el medio natural, como en el proceso de oxidación, durante la preparación de las muestras, registrándose de esta manera una pérdida de especímenes de este grupo (Head, 1997, 1998). De igual manera, M. Head (com. pers.) resalta la ausencia de especies del género *Barssidinium* (Congruentidiaceae) en este estudio, al ser éste común en sedimentos del Neógeno, especialmente del Plioceno.

3. RESULTADOS



Trinovantedinium aff. ferrugnumatum

3.1 Recobro y Calidad de las placas

En general se obtuvo un bajo recobro en las muestras, encontrándose placas estériles en dinoflagelados (plancha 1, fotos 1 y 2), con una preservación regular. Considerando el método de preparación de las placas, M. Rueda (com. pers) argumenta que no se evidencia una alteración de las estructuras, recobro y preservación de palinomorfos continentales (polen y esporas) en las placas preparadas en el ICP.

Por el contrario y de acuerdo con un reprocesamiento de algunas contramuestras del pozo Merluza-1 (no utilizadas para este estudio) en el Laboratorio de Paleobotánica y Palinología de la Universidad de Utrecht (Holanda, figura 8) por parte del Técnico Fernando Peña, Líder del Laboratorio de Análisis Geológico del ICP y revisadas por la Dra. Natasja Welters (Utrecht), el recobro y preservación de los dinoflagelados mejoró notoriamente (plancha 1, foto 3) en comparación con las placas previamente preparadas (Peña, com. pers.),

favoreciendo la observación de caracteres morfológicos, necesarios en la clasificación de las especies.

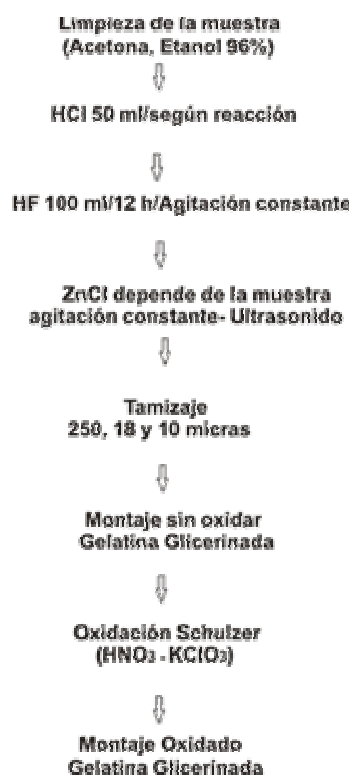


Figura 8. Metodología de preparación de placas palinológicas, Laboratorio de Paleobotánica y Palinología – Universidad de Utrecht (Holanda)

El procesamiento del ICP difiere al de Utrecht, especialmente en: los tiempos, concentraciones y volúmenes de los reactivos utilizados; así como la serie de tamices que se utilizan. De igual manera, M. Head (com. pers.) sugiere incluir en el procesamiento, el filtrado con una malla de 20 micras con el fin de mejorar el recobro de dinoflagelados.

3.2 Taxonomía

La revisión de las placas, caracterización y toma de las fotografías digitales de los morfotipos se realizó en microscopio de luz transmitida. Las placas utilizadas en este estudio se encuentran consignadas en las cajas No. 67, 68, 69 de la Palinoteca del Instituto Colombiano del Petróleo (Piedecuesta, Santander), bajo la coordinación del grupo de Bioestratigrafía de esa institución.

La verificación de las especies a continuación referenciadas, fue realizada por el Dr. Martin J. Head (Brock University, Canadá - AASP) con base en el registro fotográfico de las mismas y la descripción inicial del morfotipo observado en el ICP. El estado de preservación, no permitió una mejor identificación de las especies con base en caracteres como arqueopilo o

paratabulación, al igual que el deterioro en la parte distal de los procesos de algunos de los quistes encontrados. En total se encontraron 42 morfotipos, de los cuales 22 son del tipo Gonyaulacal, 19 del tipo Peridinal y 1 del tipo Mixto.

Para una mejor comprensión de las descripciones aquí reportadas, se suministra un pequeño glosario, que es una traducción del “Glosario de la terminología aplicada a Dinoflagelados y Acritarcos” (AASP, Contributions Series Number 2 A, 1978) y a los términos referidos en las publicaciones mencionadas en cada descripción.

Glosario

Antapical: Se refiere a la extensión posterior del hipoquiste; un cuerno sencillo bien desarrollado o un par de cuernos de igual o diferente longitud.

Apical: Se refiere a la extensión anterior del epiquiste; el cuerno puede ser sencillo o despuntado. La presencia de crestas hacia el ápice refleja una apariencia bífida.

Arqueopilo: Abertura u orificio generado por la pérdida de una o más paraplasmas y que permite la germinación de la forma de resistencia o quiste.

Bicavado: Capas de la pared conspicuamente separadas en la parte anterior y posterior del quiste, pero no en todo; la separación no está limitada o confinada dentro de los cuernos apical/antapicales, proyecciones.

“Cingulum”: Línea media del quiste (referenciado a la forma móvil) donde se encuentran los flagelos, en el quiste se usa con el prefijo para-.

Circumcavado: Capas de la pared que están separadas completamente de los márgenes del quiste y que están en contacto con las áreas medio-dorsales y medio-ventrales del quiste.

Cornucavado: Capas de la pared separadas solamente o cerca de la base de los cuernos, proyecciones.

Distal: Se refiere a la parte de los procesos que están más alejados de su origen o base.

Elongado: Alargado

Endofragma: Capa interna de la pared.

Endoquiste: Cuerpo formado por el endofragma en un quiste.

Epiquiste: Corresponde a la epiteca en la forma móvil, o porción que se encuentra anterior al “cingulum”.

Escolocorado: Se refiere al quiste que presenta proyecciones a manera de procesos, los cuales únicamente y generalmente son prominentes.

Gonal: Se refiere al punto de intersección de una o más paraplacas, del Para-"cingulum" o parasulcus. Los procesos asociados se refieren a las proyecciones generadas en esos puntos de intersección.

Gonyaulacal: Se refiere al tipo de tabulación semejante al género *Gonyaulax*

Hipocistal: Se refiere al hipoquiste

Hipoquiste: Corresponde a la hipoteca en la forma móvil, o porción que se encuentra posterior al "cingulum".

Intergonal: Sinónimo de parasutural. Se refiere al tipo de procesos que se asocian a la parasutura

Intratubular: Se refiere a procesos o proyecciones asociados a la parte media de la placa.

"Laevigate": Sinónimo de psilado, se aplica a las características de ornamentación de la pared, en la cual el tamaño de las proyecciones u ornamentaciones es $>1\mu\text{m}$.

"Limbate": Se refiere al grosor del borde (delgado) o finalización de la cámara, comúnmente asociado a las suturas, las cuales pueden estar elevadas.

Microgranular: Característica de la pared donde la apariencia de la superficie presenta elementos menores a 0.5 micrones.

Para- "cingulum": Parte media del quiste, análoga al "cingulum" en las formas móviles.

Parasutural: Se refiere a la parasutura o unión entre placas adyacentes y que pueden estar expresadas, por septas, líneas continuas, proyecciones o espinas.

Paratabulación: Patrón de ordenamiento de las placas (paraplacas) en el quiste. Usualmente se expresa como una fórmula numérica, la cual indica las series de placas presentes y el número de placas en cada serie.

Penitabular: Se refiere a los caracteres (procesos, septas, líneas de gránulos) que se encuentran inmediatamente adentro de los márgenes o suturas de las placas.

Perifragma: Capa externa de la pared

Precingular: Ubicado entre el ápice y el para - "cingulum" en los quistes, anterior al "cingulum".

Proximocorado: Quiste que presenta un tipo de ornamentación en la cual el tamaño de esta o los procesos son muy cortos, y reflejan alguna evidencia de paratabulación.

Puntoreticular: Ornamentación similar a la microgranular.

Septas: Proyecciones más o menos membranosas extendidas linealmente que crecen perpendicularmente de la pared del quiste, y que generalmente se asocian a las parasuturas.

“Tegillum”: Se refiere al tipo de soporte y/o superficie proyectada de la pared. En el polen se refiere a la superficie externa soportada por columelas.

Trabéculas: Interconexiones entre los procesos.

SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

División DINOFLAGELLATA (Butschli, 1885) Fensome et al., 1993

Clase DINOPHYCEAE Pascher, 1914

Subclase PERIDINIPHYCIDAE Fensome et al, 1993

Orden GONYAULACALES Taylor, 1980

Familia GONYAULACACEAE Lindemann, 1928

Género ACHOMOSPHAERA Evitt, 1963

Achomosphaera sp. (Lámina 1, figura 4)

Caracteres: Quiste escolocorado, subesférico con procesos trifurcados, paratabulación gonyaulacal. Arqueopilo precingular. No presenta interconexiones entre las bases de los procesos o entre su parte distal. Longitud promedio del endoblasto 75µm, longitud promedio de los procesos 18 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio, *Achomosphaera* sp se registró en la zona de foraminíferos *G. venezolana* (Pozo Merluza-1). El registro en el pozo Santa Rita-1 no evidencia una relación clara con alguna zonación.

Achomosphaera/Spiniferites spp. (Lámina 1, figuras 5-6)

Caracteres: Quiste escolocorado, esférico a subesférico con diámetro promedio de 42 µm en el endoblasto; procesos gonales y/o intergonales, distalmente trifurcados, con longitud promedio de 19 µm. El arqueopilo descrito en la literatura, para ambos géneros, es precingular (no fue observable en las agrupadas aquí).

Rango estratigráfico: Para este estudio, se encontraron en todos los pozos a través de todo el intervalo bioestratigráfico considerado.

Comentarios: Las especies asociadas dentro de este grupo no pudieron ser definidas debido al bajo grado de preservación y/o condiciones de aparición en las muestras que

facilitaran su mejor caracterización. Igualmente, la revisión figuragráfica no permitió discernir entre uno u otro género.

Género BATICASPHAERA Drug, 1970

***Baticasphaera sphaerica* Stover 1977 (Lámina 2, figura 1)**

Caracteres: Quiste proximal esférico a subesférico sin procesos ni caracteres parasuturales, pared reticular (granular o punctoreticular) de bajo relieve. Presenta un lóbulo que en el espécimen figurografiado (Lámina 2, figura 1) está pobremente definido. Diámetro 41µm. Arqueopilo tipo apical.

Rango estratigráfico: *B. sphaerica* ocurre en la zonas de *G. fohsi fohsi* del pozo Caracolí-1, *G. fohsi peripheroronda* del pozo Barranquilla-1 y *G. venezolana* del pozo Merluza-1. Esta especie fue descrita para el Mioceno Inferior de Carolina del Norte (USA, de Verteuil y Norris, 1996).

Comentarios: Aparentemente el registro de la primera ocurrencia de *B. sphaerica* en este estudio denota una sucesión desde el VIM hacia la Baja Guajira, sugiriendo un carácter diacrónico.

Género DISTATODINIUM Eaton 1976

***Distatodinium* sp (Lámina 2, figura 2)**

Caracteres: Quiste escolocorado, cuerpo elongado elipsoidal, de pared suave a finamente ornamentada, con pocos procesos de contorno pentagonal y distalmente presentan bifurcaciones y que pueden presentar interconexiones con trabeculas. Paratabulación no indicada claramente. Arqueopilo tipo apical. Longitud total 35µm, ancho 17 µm.

Rango estratigráfico: *Distatodinium* sp ocurre en el pozo Santa Rita-1 por encima de la zona de *G. obliquus* y en Caracolí-1 en la Zona de *G. venezolana*.

Comentarios: Los quistes encontrados no pudieron ser identificados a nivel de especie y se descartó en la revisión que fuera la especie *D. biffi*, la cual es más pequeña y no presenta procesos alejados de los polos (Head, com. pers).

Género FILISPHAERA Bujak 1984, emend. Head (en Head, 1994)

***Filisphaera filifera* Bujak 1984, emend. Head (en Head, 1994)**

(Lámina 2, figuras 3-4)

Caracteres: Quiste esférico, subesférico u ovoidal con un pequeño lóbulo apical observable como una línea oscura, pared delgada granular, diámetro 38µm, arqueopilo precingular.

Rango estratigráfico: En este estudio, *F. filifera* ocurre únicamente en el pozo Chuchupa-1 en la zona de *G. venezuelana*. Su rango se extiende desde el Oligoceno Superior de Holanda (Zvenboom en Head, 1996) hasta el Pleistoceno Inferior de latitudes altas (de Vernal et al en Head, 1996).

Comentarios: Especie moderadamente tolerante a condiciones frías, común en latitudes medias y altas durante el Plioceno Tardío y Pleistoceno Temprano, incluyendo su ocurrencia en áreas profundas del Atlántico Norte sugiriendo ambientes oceánicos (de Vernal et al, 1992; Mudie, 1987 en Head, 1996).

Género HYSTRICHOSPHEROPSIS Deflandre 1935

***Hystrichosphaeropsis obscura* Habib 1972 (Lámina 2, figuras 5-6)**

Caracteres: Quiste bicavado a circumcavado, elongado elipsoidal con cuerno antapical notorio, endoquiste subesférico a elipsoidal, perifragma encerrando o rodeando el endoquiste (diámetro 23 µm) a nivel cingular; paratabulación Gonyaulacal indicada por puentes parasuturales; arqueopilo precingular, con una longitud promedio de 41 µm.

Rango estratigráfico: *H. obscura* ocurre en la zonas de *G. fohsi fohsi* en el pozo Caracolí-1, *G. fohsi peripheroronda* a *G. fohsi fohsi* en el pozo Barranquilla-1 y en la parte media de la zona de *G. venezuelana* de los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1. El evento de última aparición de *H. obscura* ocurre en el Mioceno Tardío (DN9, de Verteuil y Norris, 1996).

Comentarios: La última ocurrencia de *H. obscura* en los pozos Caracolí-1, Barranquilla-1, Merluza-1 y Chuchupa-1 es similar a la reportada por de Verteuil y Norris (1996), por lo que registra un alto valor estratigráfico para este estudio.

Género IMPAGIDINIUM Stover y Evitt 1978

Impagidinium cf. antecarcerem de Verteuil y Norris 1996 (Lámina 3, figura 1)

Caracteres: Quiste proximal ovoidal a subesférico (32 X 24µm) con una corta proyección apical. Pared finamente alveolar con septas definiendo una paratabulación Gonyaulacal.

Rango estratigráfico: En este estudio, *Impagidinium cf. antecarcerem* ocurre en la zona de *G. venezolana* en el pozo Caracolí-1, entre *G. fohsi peripheroronda* y *G. venezolana* en el pozo Barranquilla-1 y *G. fohsi peripheroronda* en el pozo Chuchupa-1. *Impagidinium cf. antecarcerem* ocurre en el Mioceno Superior (DN10) en Virginia, USA (de Verteuil y Norris, 1996), lo que aparentemente sugiere que la ocurrencia regional de la especie es diacrónica.

Comentarios: El holotipo fue descrito en relación con facies neríticas de la costa este de USA (de Verteuil y Norris, 1996).

Impagidinium cf. arachnion de Verteuil y Norris 1996 (Lámina 3, figuras 3-4)

Caracteres: Quiste proximocorado con septas elevadas “limbate” que son distalmente invaginadas (figura 4) y deprimidas en su parte proximal.

Rango estratigráfico: En este estudio, *Impagidinium cf. arachnion* ocurre en la zona de *G. fohsi peripheroronda* en el pozo Barranquilla-1 y en la zona de *G. venezolana* en el pozo Merluza-1. *Impagidinium cf. arachnion* ocurre en el Mioceno Medio a Superior de Virginia, USA (DN5 – DN9, de Verteuil y Norris, 1996).

Comentarios: El registro de esta especie es similar al reportado por de Verteuil y Norris (1996), por lo que su carácter estratigráfico es considerable para el desarrollo de una biozonación.

Impagidinium sp (Lámina 3, figura 4)

Caracteres: Quiste proximocorado, sub esférico aparente patrón gonyaulacal con paraplasas definidas por procesos gonales? a manera de septas, longitud 32 µm, ancho 40 µm (a nivel cingular).

Rango estratigráfico: *Impagidinium sp* ocurre en la zona de *G. fohsi peripheroronda* en el pozo Barranquilla-1 y hacia la base de la zona de *G. venezolana* en el pozo Merluza-1, sugiriendo un carácter diacrónico.

Comentarios: La revisión no permitió la definición a nivel específico.

Género NEMATOSPHAEROPSIS Deflandre y Cookson 1955, emend. Wrenn 1988

***Nematosphaeropsis* cf. *rigida* (Lámina 3, figura 5)**

Caracteres: Quiste corado trabecular con cuerpo ovoidal. Procesos grandes, unidos por trabéculas, sólidos, gonales e intergonales, expandidos tanto proximal como distalmente. Las bases de los procesos presentan perforaciones; Arqueopilo precingular. Longitud del cuerpo 40 µm, ancho 26 µm; longitud de los procesos incluyendo las trabéculas 13 µm.

Rango estratigráfico: *Nematosphaeropsis* cf. *rigida* ocurre en la zona de *G. fohsi fohsi* en el pozo Caracolí-1 y *G. venezolana* en el pozo Merluza-1. Se sugiere un carácter diacrónico.

Comentarios: M. Head (com. pers.) descarta que se trate de *N. labyrinthus* dado que se aprecia mucha tabulación en la parte central del cuerpo y los procesos hacia la base no son lo suficientemente delgados y tubulares, y las trabéculas son muy amplias, anchas e irregulares. *Nematosphaeropsis* cf. *rigida* es común en sedimentos cuaternarios del Golfo de México (de Vernal, 1992). Se ha observado una relación positiva entre las abundancias de *N. labyrinthus/rigida*, concentraciones de fosfatos/nitratos y productividad en aguas superficiales. Quistes recién formados se han observado en trampas de sedimentos en sistemas de surgencia activa como la costa de Somalia (Zonneveld y Brummer, 2000). Puede ser caracterizada actualmente como una especie cosmopolita con tolerancia a una amplia variedad de ambientes, sin embargo, se considera que en escalas regionales puede ser utilizada para reconstrucciones paleoceanográficas como indicadora de sistemas de surgencia (www.pangaea.de).

Género POLYSPHAERIDIUM Davey y Williams (en Davey et al, 1966)

***Polysphaeridium* *zoharyi* (Rossignol, 1962) Bujak et al. 1980 (Lámina 4, figuras 1-2)**

Caracteres: Quiste escolocorado, esférico, diámetro promedio 40µm, pared microgranular, numerosos procesos no tabulares que pueden aparecer fusionados a su base y abiertos distalmente o bifurcados con longitud promedio de 13 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio se registró en todos los pozos y en general en todas las zonas de foraminíferos planctónicas usadas para calibración. *P. zoharyi* ocurre a veces abundantemente en sedimentos cuaternarios, especialmente en latitudes bajas (de Vernal et al, 1992).

***Polysphaeridium* sp (Lámina 4, figura 3)**

Caracteres: Quiste escolocorado, esférico, diámetro promedio 38µm, pared microgranular, numerosos procesos no tabulares, abiertos distalmente, algunos bifurcados con longitud promedio de 12 µm.

Rango estratigráfico: Se registró únicamente en el pozo Santa Rita-1, por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos (ver sección 5).

Género SPINIFERITES Mantell 1850, emend. Sarjeant 1970

***Spiniferites* cf. *ramosus* (Lámina 4, figuras 4-6)**

Caracteres: Quiste proximocorado ovoidal a subesférico; la superficie es suavemente ornamentada “laevigate” a granular; procesos sólidos, gonales o intergonales trifurcados distalmente. La paratabulación está expresada por septas asociadas a los procesos gonales. Arqueopilo precingular. Longitud promedio del cuerpo 18 µm y ancho 41 µm; longitud promedio de los procesos 10 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio, *Spiniferites* cf. *ramosus* se registró en todos los pozos a través con todas las zonas de foraminíferos planctónicos usados para calibración. El rango estratigráfico establecido para *Spiniferites* cf. *ramosus* es Cretácico Superior – Reciente (de Vernal y Mudie, 1992; Rochon et al, 1999).

Comentarios: Asociada con ambientes estuarinos, neríticos interno a externo (Wall et al, 1977 en Edwards y Andrie, 1992), tropicales a boreales (Harland, 1983 en Edwards y Andrie, 1992). Es abundante desde ambientes oligotróficos a eutróficos, Davey y Rogers (1975, en www.pangea.de) han sugerido valores altos de abundancia en relación con sistemas de surgencia del Suoroeste de Africa (sedimentos de plataforma externa) así como en el Mar de Arabia y en el Golfo de Guinea (Marret, 1994); aunque una situación opuesta se ha registrado en los sistema de surgencia del Perú o la Corriente de Benguela (Biebow, 1996).

***Spiniferites solidago* de Verteuil y Norris 1996 (Lámina 5, figura 1)**

Caracteres: Quiste proximocorado ovoidal a subesférico. Procesos generalmente gonales distalmente trifurcados, los cuales presentan una vacuola primaria en el tercio proximal y una o más vacuolas más pequeñas en su parte distal. Diámetro promedio de 41µm, longitud promedio de los procesos 15 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio *Spiniferites solidago* ocurre en la zona de *G. obliquus* en el pozo Santa Rita-1, y hacia la base de la zona de *G. venezuelana* en el pozo Merluza-1. El rango establecido es Oligoceno Tardío a Mioceno Tardío (DN9 de Verteuil y Norris, 1996) por lo que el registro de *S. solidago* en este estudio, refleja un alto carácter bioestratigráfico.

Comentarios: La observación directa al microscopio (objetivo 100X) permitió la observación de vacuolas primarias, sin embargo en las figuragrafías no es claro en ese aspecto.

***Spiniferites* sp (Lámina 5, figuras 2- 3)**

Caracteres: Quiste escolocorado subesférico, procesos gonales, bifurcados y trifurcados. Difiere de *Spiniferites* cf. *ramosus* en la longitud de los procesos la cual es menor.

Rango estratigráfico: En este estudio, *Spiniferites* sp ocurre en el pozo Barranquilla-1 en relación con todas las zonas de foraminíferos, y en los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1 en la zona de *G. venezuelana*, sugiriendo un carácter diacrónico.

Comentarios: La revisión no permitió una definición a nivel específico, debido a la pobre preservación de los quistes (M. Head, com. pers.).

Subfamilia CRIBROPERIDINIOIDEAE Fensome et al. 1993

Género HYSTRICHOKOLPOMA Klumpp 1953, emend. Williams y Downie 1966

***Hystrichokolpoma* sp (Lámina 5, figura 4)**

Caracteres: Quiste escolocorado, subesférico con procesos intratabulares no sólidos y abiertos distalmente. Arqueopilo tipo apical. Diámetro promedio 39µm, longitud promedio de los procesos 17µm.

Rango estratigráfico: *Hystrichokolpoma* sp se registró únicamente en la Baja Guajira y hacia la parte baja de la Zona de *G. venezuelana* de los pozos Merluza-1 y media del pozo Chuchupa-1, sugiriendo un carácter diacrónico.

Comentarios: La revisión no permitió diferenciar la especie, sin embargo, *H. rigaudiae* Deflandre y Cookson 1955, ha sido reportada en sedimentos del Mioceno Superior (de Verteuil y Norris, 1996), así como, especie común en sedimentos de Pleistoceno Inferior de latitudes bajas (de Vernal et al, 1992).

***Labyrinthodinium* sp (Lámina 5, figura 5)**

Caracteres: Quiste proximocorado, esférico, procesos intratabulares?, apéndices a manera de “tegillum” (ver de Verteuil y Norris, 1996). Diámetro sin incluir los apéndices 15 µm; diámetro total, 28 µm.

Rango estratigráfico: *Labyrinthodinium* sp ocurre únicamente hacia la parte baja de la zona de *G. venezuelana* en el pozo Merluza-1.

Comentarios: La revisión no permitió evidenciar la especie.

Género LINGULODINIUM Wall 1967, emend. Wall y Dale, 1973

***Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre y Cookson 1955)**

Wall 1967 (Lámina 6, figuras 1- 2)

Caracteres: Quiste escolocorado, cuerpo esférico a subesférico, diámetro promedio 40µm. La pared presenta apariencia granular. Procesos no tabulares y cerrados distalmente, terminando en punta o redondeados. Longitud promedio de los procesos 20 µm. Arqueopilo precingular.

Rango estratigráfico: En este estudio *L. machaerophorum* se encontró en todos los pozos y en general en todas las zonas de foraminíferos usadas para calibración. La primera ocurrencia ha sido reportada para el Paleoceno Superior en la costa este de Estados Unidos (Edwards et al, 1984 en: Rochon et al, 1999) y en sedimentos modernos del Atlántico Norte (e.g. Wall et al, 1977 en Head, 1993)

Comentarios: *L. machaerophorum* es una especie estuarina a oceánica (Edwards y Andrie, 1992), reportada como presente o abundante en latitudes medias y bajas, y ocasionalmente en latitudes altas (de Vernal et al, 1992). *L. machaerophorum* es tolerante a cambios de salinidad y temperatura en ambientes cercanos a la costa, estando su distribución posiblemente controlada por diversos parámetros ambientales como disponibilidad de nutrientes y eutroficación (Rochon et al, 1999), indicando así posibles procesos de surgencia costera leve (Head y Westphal, 1999).

Afinidad biológica: *L. machaerophorum* es afín con la especie actual *Lingulodinium polyedrum* (von Stein, 1883) Dodge, 1989 (en: Rochon et al, 1999).

***Lingulodinium multivirgatum* de Verteuil y Norris 1996 (Lámina 6, figura 3)**

Caracteres: Quiste intermedio, proximocorado, esférico a subesférico con un diámetro promedio de 48µm. Procesos a manera de apéndices próximos “virgae”. Los procesos son no tabulares y cerrados distalmente, terminando en punta o redondeados. Longitud promedio de los procesos 10 µm. La pared presenta una apariencia granular. Arqueopilo poliplacoide precingular (3P).

Rango estratigráfico: En este estudio *L. machaerophorum* ocurre en las zonas de *G. fohsi fohsi* - *G. venezolana* en el pozo Caracolí-1 y *G. fohsi peripheroronda* en el pozo Barranquilla-1. Su última ocurrencia se ha reportado en el Mioceno Inferior (DN2 – DN3; de Verteuil y Norris, 1996).

Comentarios: Difiere de *L. machaerophorum* en la longitud de los procesos, y que estos son en su mayoría distalmente redondeados. Aceptando el rango establecido por de Verteuil y Norris (1996) y su ocurrencia únicamente en el VIM, podría considerarse que la especie es retrabajada.

Género OPERCULODINIUM Wall 1967 emend. Matsuoka et al. 1997

***Operculodinium centrocarpum* (Deflandre y Cookson 1955) Wall 1967**

(Lámina 6, figuras 4- 6)

Caracteres: Quiste esférico con numerosos procesos sin que reflejen claramente un patrón de paratabulación; pared granular y diámetro promedio de 30µm. Procesos no sólidos, distalmente abiertos y curvados con una longitud promedio de 10µm. Arqueopilo precingular.

Rango estratigráfico: En este estudio *O. centrocarpum* se registró en todos los pozos y en relación con todas las zonas de foraminíferos planctónicos usadas en la calibración. *O. centrocarpum* es común en sedimentos cuaternarios (Matsuoka et al, 1997 en Rochon et al, 1999) y sedimentos del Neógeno (Harland, 1977 en Head, 1996).

Comentarios: Wall (1967 en Matsuoka, 1983) menciona que las especies del Mioceno son más grandes en su diámetro, que las reportadas para el Pleistoceno – Holoceno. Las encontradas en este estudio, registran un diámetro similar a las reportadas por Matsuoka (1983).

Afinidad biológica: *Protoceratium reticulatum* (Rochon et al, 1999).

***Operculodinium centrocarpum* / *O. israelianum* cpx. (Rossignol 1962) Wall 1967
(Lámina 7, figuras 1- 2)**

Caracteres: Quiste corado esférico a subesférico u ovoidal, pared aparentemente granular, procesos no intratabulares, distalmente acuminados, arqueopilo precingular. Diámetro promedio 35 µm, longitud promedio de los procesos 6 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio *Operculodinium centrocarpum* / *O. israelianum* cpx se registró en la casi totalidad de los pozos Santa Rita-1 y Merluza-1.

Comentarios: *O. israelianum* se reporta como presente a común en sedimentos cuaternarios (de Vernal et al, 1992), así como en áreas costeras y posiblemente asociadas con lagunas ricas en sustancias orgánicas de origen continental de latitudes bajas (Wall et al, 1977 en Morzadec-Kerfourn, 1992). *O. israelianum* puede encontrarse en áreas templadas a subtropicales y ser dominante en asociaciones de ambientes con alta salinidad como son las lagunas costeras (e.g. Morzadec-Kerfourn, 1992; McMinn, 1991; Edwards y Andrieu, 1992).

***Operculodinium* sp. (Lámina 7, figura 3)**

Caracteres: Quiste esférico, subesférico, pared granular y diámetro promedio de 35µm. Procesos aparentemente sólidos, distalmente abiertos (bifurcados?), longitud promedio 12µm.

Rango estratigráfico: *Operculodinium* sp se registró por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1, en las zonas de *G. foysi foysi* en los pozos Caracolí-1 y Barranquilla-1, y *G. foysi peripheroronda* en el pozo Barranquilla-1.

Comentarios: La revisión no permitió definir la especie.

Familia GONIODOMACEAE Lindemann 1928

Subfamilia HELGOLANDINIOEDEAE Fensome et al. 1993

Género TUBERCULODINIUM Wall 1967

***Tuberculodinium vancampae* (Rossignol 1962) Wall 1967 (Lámina 7, figura 4)**

Caracteres: Se caracteriza por un arqueopilo hipocistal compuesto y procesos bulbosos (Matsuoka, 1983). Diámetro promedio 78 µm y longitud media de los procesos 15 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio se encontró únicamente en los pozos de la Baja Guajira en la zona de *G. venezolana*. *T. vancampoe* ocurre desde el Oligoceno Superior al Holoceno en el Atlántico Norte (Harland, 1979 en Matsuoka, 1983) y en el reciente (Head, 1996).

Comentarios: *T. vancampoe* está asociada con ambientes estuarinos (Wall et al, 1977 en Edwards y Andrie, 1992), distribución nerítica interna a nerítica externa (Harland, 1983 en Edwards y Andrie, 1992) y preferencias tropicales a subtropicales (Dale, 1983 en Edwards y Andrie, 1992).

División DINOFLAGELLATA (Butschli 1855) Fensome et al. 1993

Subdivisión DINOKARYOTA Fensome et al. 1993

Clase DINOPHYCEAE Pascher 1914

Subclase PERIDINIPHYCIDAE Fensome et al. 1993

Orden PERIDINIALES Haeckel 1984

Familia PROTOPERIDINIACEAE Balech 1988

Subfamilia PROTOPERIDINIOIDEAE Balech 1988

Género LEJEUNECYSTA Artzner y Dorhofer 1978 emend. Lentin y Williams 1976

***Lejeunecysta cinctoria* (Bujak 1980) Lentin y Williams 1981 (Lámina 7, figura 5)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal color café, compresión dorsoventral, epiquiste e hipoquiste de longitud similar, cuerno apical redondeado observable en vista dorsal como una franja oscura y cuernos antapicales redondeados. Para-"cingulum" planar, marcado por pequeñas crestas en la margen (apariencia dentada). Pared suave con microgranulación aprente. Diámetro promedio 40 µm.

Rango estratigráfico: En este estudio *Lejeunecysta cinctoria* se encontró por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1 y en la parte baja del la zona de *G. venezolana* en el pozo Merluza-1. Su rango se extiende desde el Eoceno Medio en el sur de Inglaterra (Bujak et al, 1980 en Head y Norris, 2003) hasta el Mioceno Superior del Golfo de México (Duffield y Stein, 1986 en Head y Norris, 2003), y desde el Mioceno Superior hasta el Plioceno Inferior bajo de la Costa Este de USA (Head y Norris, 2003).

Comentarios: Su ocurrencia en este estudio, aunque escasa, podría estar de acuerdo con lo reportado para el Golfo de México y la Costa Este de USA sugiriendo así una edad no más antigua a Mioceno Tardío.

***Lejeunecysta hatterasensis* Head y Norris 2003 (Lámina 7, figuras 6)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal color café, con moderada compresión dorsoventral; epiquiste e hipoquiste de longitud similar, cuerno apical redondeado y cuernos antapicales de punta aguda aparentemente serrada. Para-"cingulum" planar y marcado por pequeñas crestas de apariencia dentada. Pared ornamentada por pequeños puentes y finamente granulada. Longitud promedio 50 µm, diámetro promedio 45 µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta hatterasensis* ocurre por encima del tope bioestratigráfico considerado con foraminíferos en el pozo Santa Rita-1, en la zona de *G. fohsi fohsi* en el pozo Caracolí-1 y en la base de *G. venezuelana* en los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1. Esta especie se describió en Bahamas en dos intervalos separados del Plioceno Inferior y Plioceno Superior (Ver Head y Norris, 2003).

Comentarios: La presencia de *Lejeunecysta hatterasensis* en este estudio, estaría ampliando posiblemente su rango estratigráfico al Mioceno Tardío.

***Lejeunecysta fallax* (Morgenroth) Artzner y Dorhofer 1978 (Lámina 8, figura 1)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal color café claro, con moderada compresión dorsoventral; epiquiste más grande que el hipoquiste, cuerno apical alargado terminado en una punta gruesa redondeada del que aparentemente se delinea una cresta la cual se extiende hasta el Para-"cingulum". Cuernos antapicales de punta aguda. Para-"cingulum" planar con la margen aparentemente festoneada. Pared finamente granulada. Longitud promedio 35µm, diámetro promedio 31µm, longitud del epiquiste 22 µm.

Rango estratigráfico: *L. fallax* ocurre por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1, y en la zona de *G. fohsi fohsi* en el pozo Caracolí-1, sugiriéndose una edad no más antigua a Mioceno Medio alto. Su rango se extiende desde el Oligoceno Medio en la costa SE de Canadá (Williams, 1975 en Ramírez, 2004) hasta el Mioceno Medio basal del Pacífico NW del Japón (Bujak y Matsuoka, 1986 en Ramírez, 2004).

Comentarios: El reporte de *L. fallax* en este estudio, estaría dentro del rango sugerido en la literatura. Louwey et al (2004) reportan la ocurrencia de esta especie por primera vez en el Plioceno del margen sur del la Cuenca del Mar del Norte.

***Lejeunecysta marieae* (Harland en Harland et al. 1991) Lentin y Williams 1993
(Lámina 8, figura 2)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, café claro, epiquiste más grande que el hipoquiste, cónico y con lados convexos, cuerno apical fuertemente desarrollado y resaltado por un engrosamiento apical. Hipoquiste redondeado a trapezoidal con cuernos antapicales divergentes. Para-"cingulum" representado por un pliegue transversal. Arqueopilo intercalar. Longitud total 34 μm , longitud del epiquiste 25 μm , ancho 25 μm .

Rango estratigráfico: *L. marieae* ocurre únicamente en el Pozo Chuchupa-1 en la parte media del intervalo de la zona de *G. venezolana*. Head (1993) sitúa su ocurrencia en el Plioceno Superior en Francia e Inglaterra.

Comentarios: Su ocurrencia en la Baja Guajira sugiere que su rango se extendería posiblemente desde el Mioceno Tardío.

***Lejeunecysta sabrina* (Reid 1977) Bujak 1984
(Lámina 8, figura 3)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café claro, pared suave (puede presentar microgranulación muy escasa), epiquiste más pequeño que el hipoquiste, cuerno antapical redondeado y antapicales cortos redondeados. Para-"cingulum" plegado planar sin aparente ornamentación en la margen. Longitud promedio 60 μm y ancho promedio 42 μm , distancia entre cuernos antapicales 16 μm .

Rango estratigráfico: *L. sabrina* ocurre en la zona de *G. venezolana* de los pozos Caracolí-1 y Merluza-1 sugiriendo una edad no más antigua al Mioceno Tardío. Turon y Londeix (1988, en Rochon et al, 1999) sitúan la primera ocurrencia de *L. sabrina* en el Pleistoceno Superior para el oeste del Mediterráneo.

Comentarios: Se diferencia de *L. oliva* en el cuerno antapical, el cual es sólido y terminado en punta (M. Head, com. pers.)

Afinidad biológica: *Protoperidinium leone*.

***Lejeunecysta* sp1 (Lámina 8, figura 4)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café claro, con aparente microgranulación, epiquiste más grande que el hipoquiste, cuerno apical redondeado y antapicales cortos terminados en puntas suavemente redondeadas. Para-"cingulum" plegado planar sin aparente ornamentación en la margen. Longitud promedio 42µm y ancho promedio 30µm, distancia entre cuernos antapicales 12 µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta* sp1 ocurre únicamente arriba del intervalo bioestratigráfico analizado a través de foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1, por lo que su edad o rango no es posible establecerse (ver sección 5).

Comentarios: La revisión taxonómica no permitió definir la especie.

***Lejeunecysta* sp2 (Lámina 8, figura 5)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café claro, más ancho que alto, con aparente microgranulación, epiquiste e hipoquiste de tamaño similar, cuerno apical redondeado a convexo y antapicales cortos redondeados. Para-"cingulum" plegado planar sin aparente ornamentación en la margen y caracterizado por dos lóbulos aparentes. Longitud promedio 51µm y ancho promedio 68µm, ancho a nivel del Para-"cingulum" 12µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta* sp2 ocurre únicamente en la zona de *G. venezuelana* del pozo Chuchupa-1, sugiriendo una edad no más antigua a Mioceno Tardío.

Comentarios: La revisión taxonómica no permitió definir su especie.

***Lejeunecysta* sp3 (Lámina 8, figura 6)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café muy claro, más largo que ancho, con aparente microgranulación, epiquiste algo más grande que el hipoquiste, cuerno apical redondeado y antapicales muy cortos redondeados. Para-"cingulum" plegado planar sin aparente ornamentación en la margen. Longitud 47µm y ancho 38µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta* sp3 ocurre únicamente en las zonas de *G. fohsi fohsi* – *G. fohsi peripheroronda* del pozo Barranquilla-1 sugiriéndose una edad no mayor a Mioceno Medio alto.

Comentarios: La revisión taxonómica no permitió definir su especie.

***Lejeunecysta* sp4 (Lámina 9, figura 1)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café muy claro, más largo que ancho, con aparente microgranulación, epiquiste algo más pequeño que el hipoquiste, cuerno apical prominente redondeado y antapicales muy cortos y divergentes. Para-"cingulum" planar sin aparente ornamentación en la margen. Longitud 43µm y ancho 36µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta* sp4 ocurre únicamente en la zona de *G. fohsi peripheroronda* del pozo Chuchupa-1, sugiriendo una edad no mayor a Mioceno Medio medio.

***Lejeunecysta* sp5 (Lámina 9, figura 2)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café oscuro, más ancho que largo, con aparente ornamentación reflejada por aparentes septas cortas y microgranulación. Epiquiste algo más grande que el hipoquiste, cuerno apical redondeado y antapicales muy cortos terminados en una punta redondeada. Para-"cingulum" planar sin aparente ornamentación en la margen. Longitud 38µm y ancho 32µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta* sp5 ocurre únicamente hacia el tope de la zona *G. fohsi fohsi* del pozo Caracolí-1, sugiriendo una edad no más antigua a Mioceno Medio alto.

***Lejeunecysta* sp6 (Lámina 9, figura 3)**

Caracteres: Quiste peridinoide proximal, color café oscuro, más ancho que largo, con aparente microgranulación. Epiquiste de tamaño similar al hipoquiste, cuerno apical redondeado casi convexo y antapicales cortos redondeados. Para-"cingulum" planar plegado sin una aparente ornamentación en la margen. Longitud 42µm y ancho 47µm.

Rango estratigráfico: *Lejeunecysta* sp6 ocurre únicamente hacia la base de la zona de *G. venezuelana* en el pozo Merluza-1, sugiriendo así una edad no más joven a Mioceno Tardío.

Género QUINQUECUSPIS Harland 1977

***Quinquecuspis concreta* (Reid 1977) Harland 1977 (Lámina 9, figuras 4- 5)**

Caracteres: Quiste pentagonal color café, comprimido dorsoventralmente con cuernos apical – redondeado- y antapicales bien desarrollados, que pueden desarrollar una punta;

superficie lisa o puede presentar pequeños pliegues longitudinales. Arqueopilo intercalar, ancho a nivel cingular 39 µm; longitud total 52 µm.

Rango estratigráfico: *Quinquecuspis concreta* ocurre por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1, y hacia el tope de la zona de *G. venezolana* en el pozo Merluza-1. Su ocurrencia está reportada para el Pleistoceno del Atlántico Noreste (de Vernal et al, 1992).

Comentarios: La primera ocurrencia de *Q. concreta* en este estudio, podría ampliar posiblemente su rango hasta el Mioceno Tardío, mientras que su última ocurrencia a nivel global se extiende hasta el Pleistoceno (de Vernal et al, 1992). *Q. concreta* muestra una tendencia de distribución nerítica interna a externa, ambientes templados a tropicales (Harland, 1983 en Edwards y Andrieu, 1992).

Género SELENOPEMPHIX Bendeck 1972, emend. Head 1993

***Selenopemphix dionaeacysta* Head Norris y Mudie, 1989 (Lámina 10, figuras 1- 3)**

Caracteres: Quiste proximocorado café claro, circular a pentagonal, con superficie suave y procesos sólidos (ver Head et al, 1989).

Rango estratigráfico: *S. dionaeacysta* ocurre en las zona de *G. obliquus* y por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1, inicia su aparición hacia el tope de la zona de *G. fohsi fohsi* y a través de la zona de *G. venezolana* en los pozos Caracolí-1, Barranquilla-1 (parte media) y Merluza-1. Su rango establecido es desde el Oligoceno Superior (Italia, en Powell, 1986) hasta el Plioceno Superior de Inglaterra (Head, 1993, 1996). Sin embargo, de Verteuil y Norris (1996) reportan su primera ocurrencia en el Mioceno Medio (Serravallian) marcando el inicio de la zona DN6 para la costa este de Norte América (Maryland).

Comentarios: La ocurrencia de *S. dionaeacysta* en este estudio, está en concordancia con la propuesta por de Verteuil y Norris (1996), por lo tanto se sugiere un carácter diacrónico y una edad Mioceno Medio a Mioceno Tardío.

***Selenopemphix nephroides* Bendeck 1972, emend. Bujak en Bujak et al. 1980 (Lámina 10, figuras 4- 6)**

Caracteres: Quiste café claro, compresión polar (apical/antapicalmente), circular a semicircular. Pared del endofragma delgado café claro y superficie suave. Para-"cingulum"

claramente desarrollado, parasulcus moderadamente inciso. Cuernos apical y antapicales fuertemente desarrollados, que en vista polar se observan como una zona más oscura. Arqueopilo intercalar.

Rango estratigráfico: *Selenopemphix nephroides* ocurre en la zona *G. fohsi fohsi* del pozo Caracolí-1, hacia el tope de *G. fohsi peripheroronda* del pozo Barranquilla-1 y en general para la zona *G. venezuelana* de los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1. Su rango estratigráfico se extiende desde el Maastrichtiano de Nigeria (Oloto, 1989 en Head, 1993) hasta el Holoceno en el Mediterráneo (Turón y Londeix, 1988 en Head, 1993) y Japón (Matsuoka, 1992 en Head, 1993).

Comentarios: *S. nephroides* ha sido reportada para el este de Venezuela (Helenes y Cabrera, 2003) y en relación con sedimentos neríticos Cuaternarios e incluso recientes (A. de Vernal et al, 1992; Harland, 1983 en Head, 1993). De igual manera desde el Oligoceno, aunque se tiene reporte para el Eoceno Medio en el sur de Inglaterra (Head, 1993) hasta el reciente en áreas influenciadas por el Amazonas (Frente Subtropical del Hemisferio Norte) encontrándose entre 50°N y 50°S (www.pangaea.de).

Género QUADRINA Bujak en Bujak et al. 1980

***Quadrina condita* de Verteuil y Norris 1992 (Lámina 11, figura 1)**

Caracteres: Quiste pigmentado, forma rectangular o cruciforme. Los 4 lóbulos presentan procesos sólidos distalmente acuminados organizados aparentemente en forma circular. La pared presenta un aspecto liso o microgranular. Longitud promedio 30 µm en sentido apical/antapical y diámetro promedio 38µm, longitud promedio de los procesos 17µm.

Rango estratigráfico: *Quadrina condita* ocurre en la zona *G. venezuelana* del pozo Caracolí-1 y hacia el tope de *G. fohsi peripheroronda* del pozo Barranquilla-1. Su rango se extiende desde el Mioceno Inferior? Hasta el Mioceno Superior en el Golfo de México (Duffield y Stein, 1986 en de Verteuil y Norris, 1992), con registros para el Mioceno Superior en el Caribe Occidental (DSDP Sitio 502; Wrenn, 1989 en de Verteuil y Norris, 1992).

Comentarios: Su ocurrencia en este estudio estaría dentro del rango propuesto, aunque en relación con sedimentos de edad Mioceno Medio al Mioceno Tardío.

Género TRINOVANTEDINIUM Reid 1978, emend. de Verteuil y Norris 1992
***Trinovantedinium glorianum* (Head, Norris y Mudie 1989) de Verteuil y Norris 1992**
(Lámina 11, figura 2)

Caracteres: Quiste proximocorado, pigmentado, comprimido dorsoventralmente con forma pentagonal. Epiquiste de tamaño similar al hipoquiste, cuerno apical no redondeado y antapicales con ornamentación; procesos intratabulares. Longitud apical/antapical 63µm, diámetro 60 µm, longitud procesos 2 µm. Arqueopilo intercalar.

Rango estratigráfico: *T. glorianum* ocurre en la zona de *G. fohsi peripheroronda* del pozo Barranquilla-1, hacia el tope de *G. venezuelana* en el pozo Caracolí-1 y hacia la base de *G. venezuelana* en el pozo Merluza-1. Su rango se extiende desde el Mioceno Medio alto a Plioceno Superior bajo (de Verteuil y Norris, 1992; Head, 1993).

Comentarios: *T. glorianum* ocurre solamente en pozos costa afuera y con un carácter diacrónico, dentro del rango propuesto por de Verteuil y Norris (1992) y Head (1993) por lo que estaría indicando una edad no menor a Mioceno Medio tardío.

***Trinovantedinium variabile* (Bujak 1984) de Verteuil y Norris 1992**
(Lámina 11, figura 3)

Caracteres: Quiste escolocorado, color café, forma pentagonal; proceso sólidos distalmente ramificados (multifurcados –aculeae- distalmente en algunos casos). Ancho promedio 50µm, longitud promedio de los procesos 1,2 µm. Arqueopilo intercalar.

Rango estratigráfico: *Trinovantedinium variabile* ocurre hacia el tope de la zona *G. fohsi peripheroronda* del pozo Barranquilla-1 y la zona de *G. venezuelana* del pozo Merluza-1. Su rango se extiende desde el Mioceno Medio alto en el Pacífico Oeste (Matsuoka et al, 1987 en Head, 1993) y Atlántico Este (de Verteuil y Norris, 1992 en Head, 1993) hasta el Pleistoceno Inferior del Pacífico Norte – Oeste (Matsuoka et al, 1982 en Head, 1993).

Comentarios: La ocurrencia de esta especie al igual que *T. glorianum* se registró en pozos costa afuera, sugiriendo una edad no menor a Mioceno Medio medio. Matsuoka et al (1982 en Head, 1993) sugieren una afinidad con la actual especie *Protoperidinium divaricatum* en relación con la corriente de Kuroshio por lo que estaría asociado con aguas frías, aunque comentan que *P. divaricatum* tiene requerimientos ambientales de aguas templadas a cálidas y se asocia a zonas de rompientes (ambientes neríticos internos).

***Trinovantedinium* aff. *ferrugnumatum* de Verteuil y Norris 1992**

(Lámina 11, figura 4)

Caracteres: Quiste proximocorado, pigmentado, comprimido dorsoventralmente con forma redondeada-pentagonal. Epiquiste redondeado a cónico de tamaño similar al hipoquiste. Procesos penitabulares e intratabulares, acuminados, o en forma de espina bífida; sólidos o no, individuales o formando líneas plegadas discontinuas. Longitud, excluyendo procesos, 34 μm , longitud procesos 4 μm . Arqueopilo intercalar.

Rango estratigráfico: *Trinovantedinium* aff. *ferrugnumatum* ocurre únicamente hacia el tope del intervalo en la zona *G. venezuelana* del pozo Chuchupa-1. De acuerdo con de Verteuil y Norris (1992) su ocurrencia se da en el Mioceno Superior.

Comentarios: La ocurrencia de esta especie, en este estudio, estaría acorde con lo propuesto por de Verteuil y Norris (1992) sugiriendo así una edad no más joven al Mioceno Tardío.

Género PALAEOCYSTODINIUM Alberti 1961

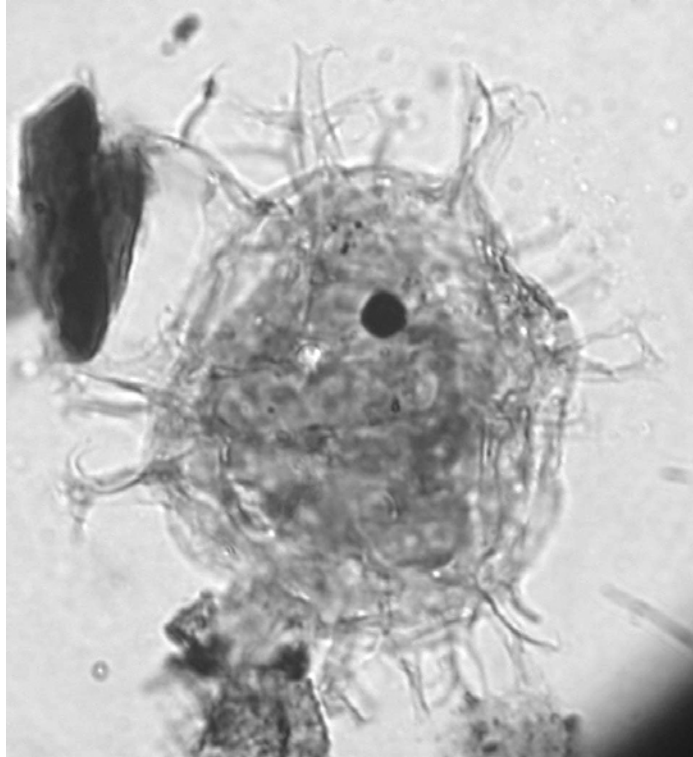
***Palaeocystodinium* sp. (Lámina 11, figura 5)**

Caracteres: Quiste proximal, cornucavado o circumcavado, elongado, cuernos apical y antapical terminados en punta, perifragma suave con microgranulación?, arqueopilo intercalar. Longitud total 48 μm .

Rango estratigráfico: *Palaeocystodinium* sp ocurre por encima del intervalo bioestratigráfico analizado con foraminíferos planctónicos en el pozo Santa Rita-1, en la zona de *G. fohsi fohsi* en el pozo Caracolí-1, en todas las zonas consideradas de foraminíferos en Barranquilla-1 y en la parte media de *G. venezuelana* en los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1, sugiriendo así una edad no más joven a Mioceno Tardío medio.

Comentarios: Head (com. pers.) sugiere que puede estar entre *P. minor* o *P. miocaenicum*; sin embargo no se pudo determinar su especie.

5. Asociaciones de dinoflagelados: Aproximación Cronoestratigráfica



Spiniferites cf. ramosus

Con base en los gráficos de distribución bioestratigráfica se reconocen 6 asociaciones de especies de dinoflagelados que pueden estar definiendo posibles zonas y que potencialmente pueden ser utilizadas en el desarrollo de una biozonación de aplicación regional (tabla 3).

En el caso de la información del Pozo Santa Rita-1, y como se mencionó previamente, la ocurrencia a la misma profundidad de *G. minutus*, *P. sicana*, *G. fohsi peripheroronda*, *G. fohsi fohsi* y *G. venezolana* (D. Rincón com. pers.), sugiere la existencia de una posible discontinuidad, no evaluada en este trabajo, por lo que sus asociaciones aunque presentan especies similares a los demás pozos, deben ser consideradas cuidadosamente.

Las zonas preliminarmente planteadas y las correspondientes asociaciones de más joven a más antigua, son:

- **Zona *Trinovantedinium cf. ferrugnumatum*:** Estaría caracterizada por las primeras ocurrencias de *Trinovantedinium cf. ferrugnumatum* y *Lejeunecysta* sp2, acompañadas por *Spiniferites cf. ramosus*, *Achomosphaera* sp, *Batiacasphaera sphaerica*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Selenopemphix nephroides* y *Tuberculodinium vancampoae*.
- **Zona *Filisphaera filifera*:** Además de incluir la primera aparición de *F. filifera* y *L. marieae*, también contiene las especies *Spiniferites cf. ramosus*, *Achomosphaera* sp, *B. sphaerica*, *L. machaerophorum*, *S. nephroides*, *T. vancampoae*, *Hystrichokolpoma* sp, *Palaeocystodinium* sp, *Polysphaeridium zoharyi*, *Spiniferites* sp, *Operculodinium centrocarpum*, *Achomosphaera-Spiniferites* spp, *Spiniferites cf. ramosus* e *Impagidinium* sp.
- **Zona *Lejeunecysta sabrina*:** Incluye la primera ocurrencia de *L. sabrina* y la última de *L. cinctoria* acompañadas de *Selenopemphix dionaeacysta*, *Palaeocystodinium* sp, *Quadrina condita*, *S. nephroides*, *Trinovantedinium cf. variable*, *Quinquecuspis concreta*, *Tuberculodinium vancampoae* *L. machaerophorum*, *S. dionaeacysta*, *Hystrichokolpoma* sp, *Palaeocystodinium* sp, *P. zoharyi*, *Spiniferites* sp, *O. centrocarpum*, *Operculodinium centrocarpum/O. israelianum* cpx, *Achomosphaera-Spiniferites* spp, *S. cf. ramosus*, *Impagidinium cf. antecarcerem*, *Impagidinium cf. arachnion* e *Impagidinium* sp.
- **Zona *Lejeunecysta hatterasensis*:** Incluye la primera ocurrencia de *L. hatterasensis*, *T. cf. glorianum*, *T. cf. variable*, *Q. concreta*, *Lejeunecysta* sp4 y *Lejeunecysta* sp6 y las últimas ocurrencias de *S. solidago* e *H. obscura*, acompañadas de las especies *S. dionaeacysta*, *Palaeocystodinium* sp, *Q. condita*, *S. nephroides*, *T. vancampoae*, *L. machaerophorum*, *Hystrichokolpoma* sp, *Palaeocystodinium* sp, *P. zoharyi*, *Spiniferites* sp, *O. centrocarpum*, *Operculodinium centrocarpum/O. israelianum* cpx, *Achomosphaera-Spiniferites* spp, *S. cf. ramosus*, *Impagidinium* sp y *Lingulodinium multivirgatum*.
- **Zona *Lejeunecysta fallax*:** La última ocurrencia de *L. fallax* y las ocurrencias de *Lejeunecysta* sp1, *Lejeunecysta* sp5 y *Lejeunecysta* sp3 definirían esta zona, acompañadas por las especies *O. centrocarpum*, *Spiniferites-Achomosphaera* spp, *S.*

cf. ramosus, *Spiniferites* sp, *Palaeocystodinium* sp, *Lingulodinium multivirgatum*, *S. dionaeacysta*, *Impagidinium cf. arachnion*, *Impagidinium cf. antecarcerem* e *Impagidinium* sp.

- **Zona *Impagidinium cf. arachnion***: Incluye las primeras ocurrencias de *T. cf. glorianum* y *T. cf. variable* en compañía de las especies *Impagidinium cf. antecarcerem*, *Impagidinium cf. arachnion*, *Achomosphaera-Spiniferites* spp, *O. centrocarpum*, *L. multivirgatum*, *Operculodinium* sp, *S. dionaeacysta*, *S. nephroides*, *S. cf. ramosus* y *Spiniferites* sp.

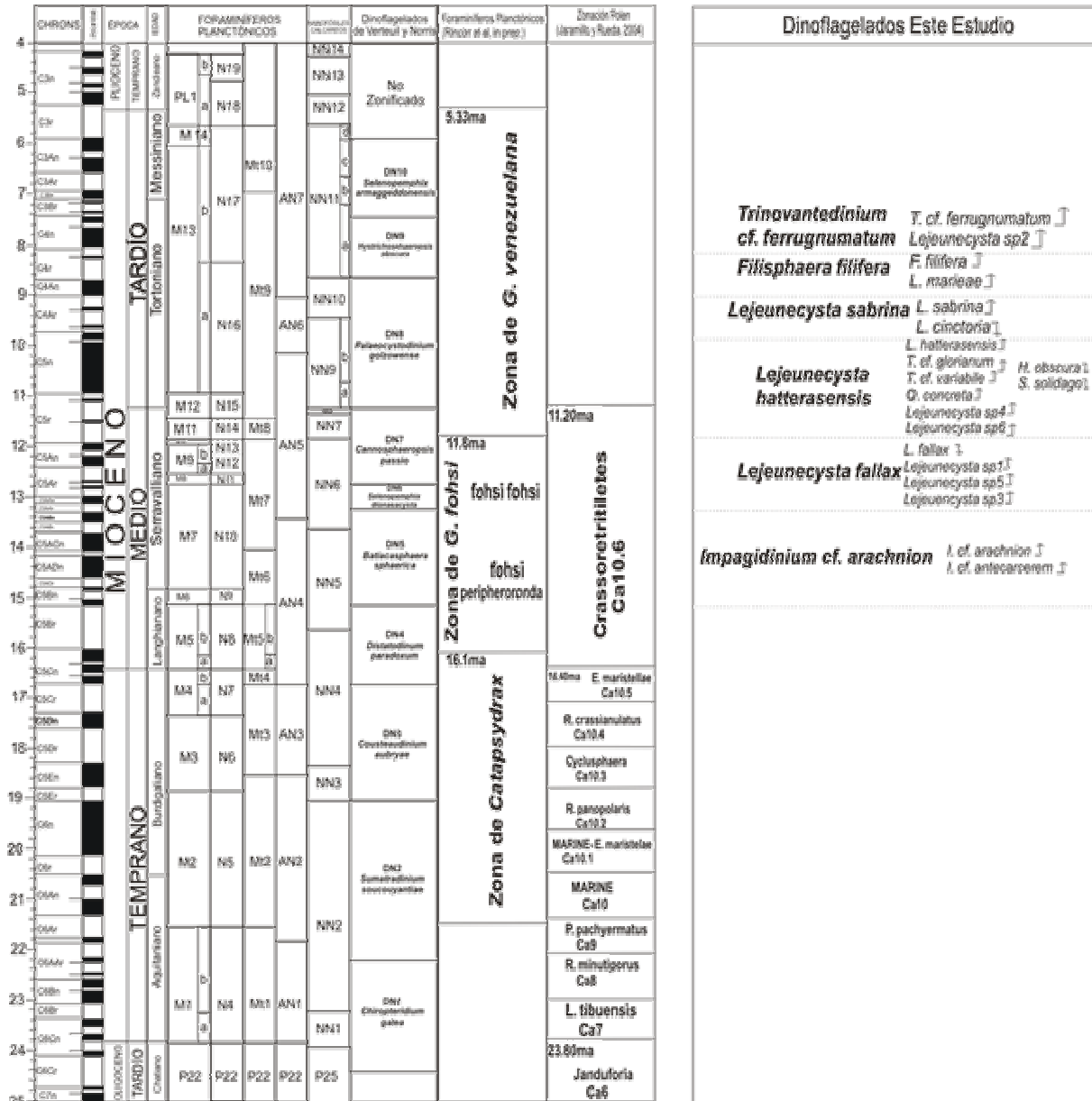
De la evaluación de la información bioestratigráfica de todos los pozos es evidente la tendencia en sentido oeste-este al incremento de especies Peridiniales. Este patrón estaría asociado a posibles condiciones favorables para su sostenimiento probablemente relacionadas con la disponibilidad de nutrientes, coincidiendo con la diversificación de los Peridiniales durante el Neógeno y en especial en el Mioceno Medio (Head, 1998).

Teniendo en cuenta que la información bioestratigráfica presentada en esta tesis está restringida a intervalos discretos, de solo algunos pozos del VIM y la Baja Guajira, solo es posible sugerir una aproximación a una zonificación, basada especialmente en la ocurrencia especialmente de Peridiniales (figura 19).

Se indican los eventos de primera y última ocurrencia de dinoflagelados en relación con las zonas de foraminíferos planctónicos propuesta por Rincón et al (en prep.), la zonación de palinomorfos terrestres propuesta por Jaramillo y Rueda (2004), así como la zonación desarrollada por de Verteuil y Norris (1996). En el estado presente del conocimiento, los eventos bioestratigráfico indicados carecen de un significado cronoestratigráfico estricto; es decir, su valor es bioestratigráfico relativo.

Las 6 zonas preliminares propuestas incrementan notablemente la resolución estratigráfica en el intervalo temporal considerado, respecto a la información bioestratigráfica obtenida con foraminíferos planctónicos y polen en el Caribe Colombiano. Este es el caso del intervalo temporal de la zona *G. venezuelana*. Mediante el empleo de dinoflagelados este intervalo potencialmente podría dividirse en 4 zonas, mejorando así sustancialmente la resolución bioestratigráfica del Mioceno Tardío.

Figura 19. Secuencia cronoestratigráfica de la ocurrencia de dinoflagelados para el intervalo Mioceno Medio alto – Mioceno Superior, en el Caribe Colombiano. La zonas propuestas son comparadas con la zonación de dinoflagelados propuesta por de Verteuil y Norris (1996), zonación de foraminíferos planctónicos de Rincón et al (en prep.) y la zonificación de polen de Jaramillo y Rueda (2004).



Con el fin de visualizar el potencial de correlación de las especies propuestas se elaboró la figura 20 (para detalle, ver anexo 1). En la figura 20 se indican las zonas de foraminíferos planctónicos que sirven de marco de referencia cronoestratigráfico.

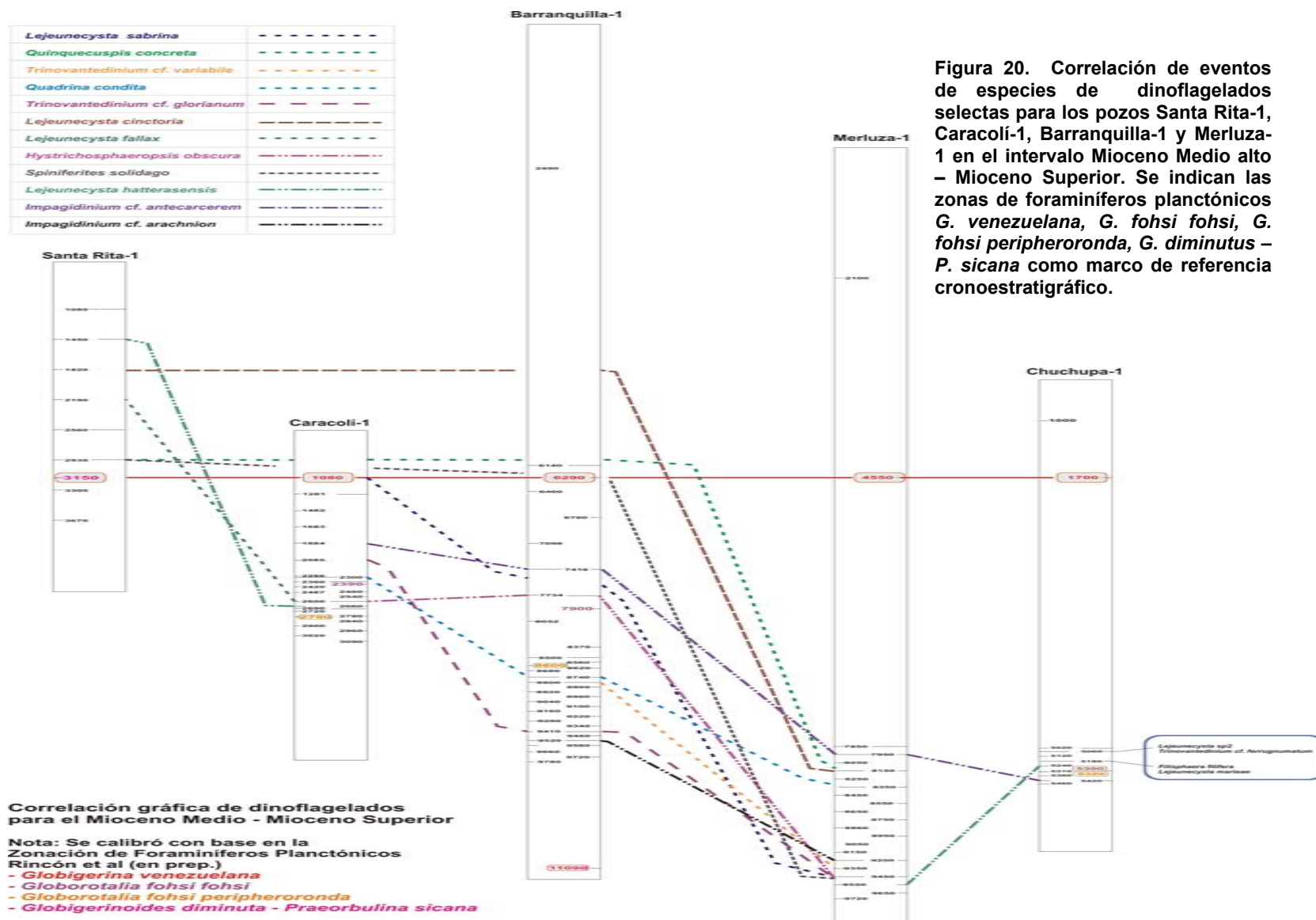


Figura 20. Correlación de eventos de especies de dinoflagelados selectas para los pozos Santa Rita-1, Caracolí-1, Barranquilla-1 y Merluza-1 en el intervalo Mioceno Medio alto - Mioceno Superior. Se indican las zonas de foraminíferos planctónicos *G. venezuelana*, *G. fohsi fohsi*, *G. fohsi peripheroronda*, *G. diminuta* - *P. sicana* como marco de referencia cronoestratigráfico.

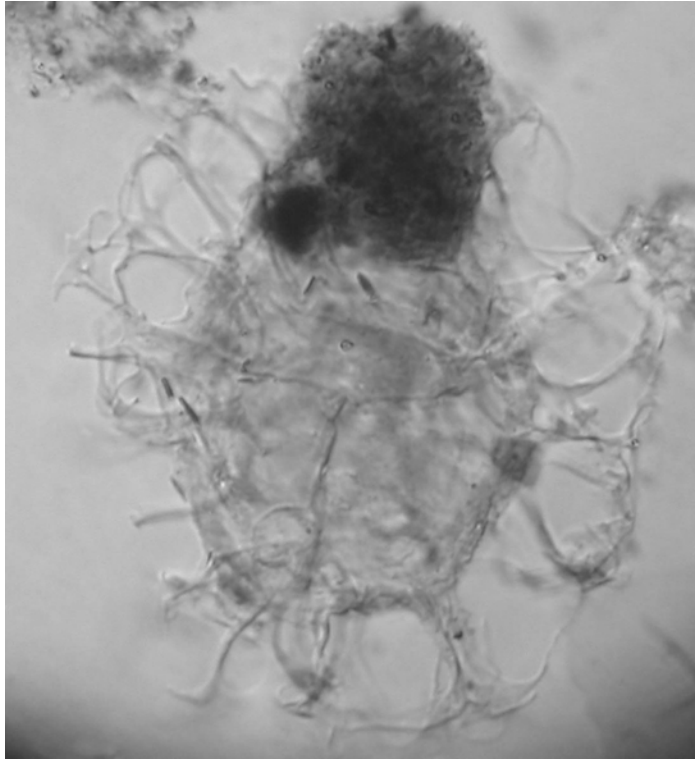
El gráfico evidencia la ocurrencia diacrónica de las especies entre el Valle Inferior del Magdalena y la Baja Guajira, especialmente para las especies *Lejeunecysta hatterasensis* e *Hystrichosphaeropsis obscura* las cuales en el VIM se registran por debajo de la zona de *G. venezuelana* y en la Baja Guajira por encima de la base de esta zona. Cabe resaltar que en el caso del pozo Merluza-1, cuya profundidad total es de 9720'; la primera ocurrencia en este pozo de *Lejeunecysta hatterasensis* y la última ocurrencia de *Hystrichosphaeropsis obscura* se encuentran en 9550' y 9450', respectivamente, a la base de la zona de *G. venezuelana*.

La primera ocurrencia de *Lejeunecysta sabrina*, *Quinquecuspis concreta* y *Trinovantedinium cf. glorianum* se presenta en todos los pozos dentro de la zona de *G. venezuelana*. Sin embargo, los eventos de *Q. concreta* y *L. sabrina* se entrecruzan al pasar de los pozos del VIM a los de la Baja Guajira.

En la literatura se han reportado que las primeras ocurrencias de *Lejeunecysta marieae*, *Filisphaera filifera* y *Trinovantedinium cf. ferrugnumatum* se encuentran en el Mioceno Superior alto y Plioceno. Esto hace evidente una posible inconsistencia en el límite superior asignado para la zona *G. venezuelana* en el pozo Chuchupa-1.

El cruce de los eventos bioestratigráficos de las especies seleccionadas entre el Valle Inferior del Magdalena y la Baja Guajira, sugiere que aunque las especies de dinoflagelados ocurren en ambas áreas, podrían estar controladas por factores ambientales aún no establecidos, cuya identificación podría evaluarse al estudiar cada área separadamente. Estos factores ambientales probablemente sean los responsables del diacronismo observado en los eventos de dinoflagelados reportados en este estudio.

6. PALEOECOLOGÍA



Nematosphaeropsis cf. rigida

6.1 Paleoproductividad en el Mioceno Medio alto - Mioceno Tardío, ocurrencia de sistemas de surgencia

Se estimó el índice P/G a todo el conjunto de muestras analizadas en este estudio (figuras 21 a 25). Los valores del índice $P/G = 0$ corresponden con alguno de los siguientes casos: a) la no ocurrencia de quistes en la muestra, b) la ocurrencia de solamente especies de Peridinales, c) la ocurrencia de solo especies Gonyaulacales o d) la ocurrencia en igual cantidad de especies Peridinales y Gonyaulacales. Los valores negativos indican mayor ocurrencia de especies Gonyaulacales y valores positivos mayor ocurrencia de especies Peridinales.

Con el fin de evaluar la aplicabilidad del índice P/G como indicador de condiciones eutróficas, se realizó una comparación del índice con el comportamiento de los foraminíferos

planctónicos (datos suministrados por el ICP). Los grupos Globorotálidos y Neogloboquadrínidos (foraminíferos planctónicos de aguas profundas) se usaron como indicadores de condiciones eutróficas en analogía con el presente (e.g. Hemleben et al, 1989). El contenido porcentual de Globorotálidos y Neogloboquadrínidos se estimó a partir de la sumatoria de los géneros *Neogloboquadrina* y *Globorotalia*.

Pozo Santa Rita-1

El índice P/G exhibe un máximo de 0,33 a la profundidad de 1820' (figura 21) y un valor mínimo de -0,66 a 2930'

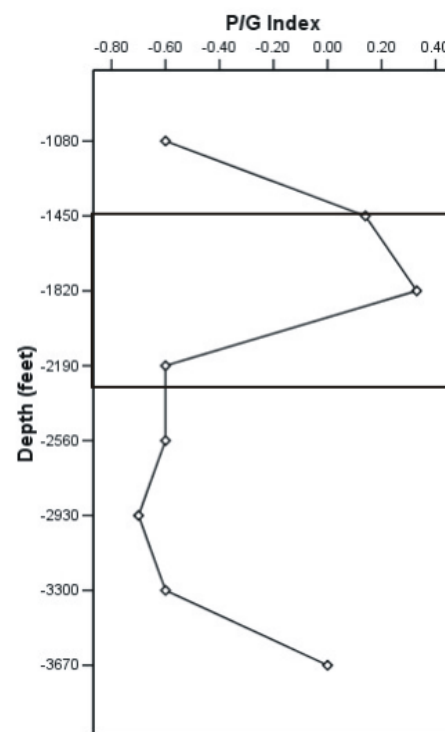


Figura 21. Comportamiento Índice P/G en el Pozo Santa Rita-1. Se resalta la ocurrencia de valores altos entre 1450' - 2200'

Pozo Caracolí-1

El índice P/G en el pozo Caracolí-1 varía entre -0,60 y 0,33. Los picos máximos del índice P/G (figura 22) ocurren a 2600' muy cercano al tope de la zona *G. fohsi fohsi* (Mioceno Medio alto) y hacia 1080' hacia el tope de la zona *G. venezuelana* (Mioceno Tardío). El valor máximo del índice P/G corresponde con un incremento de la abundancia y la diversidad (figura 12).

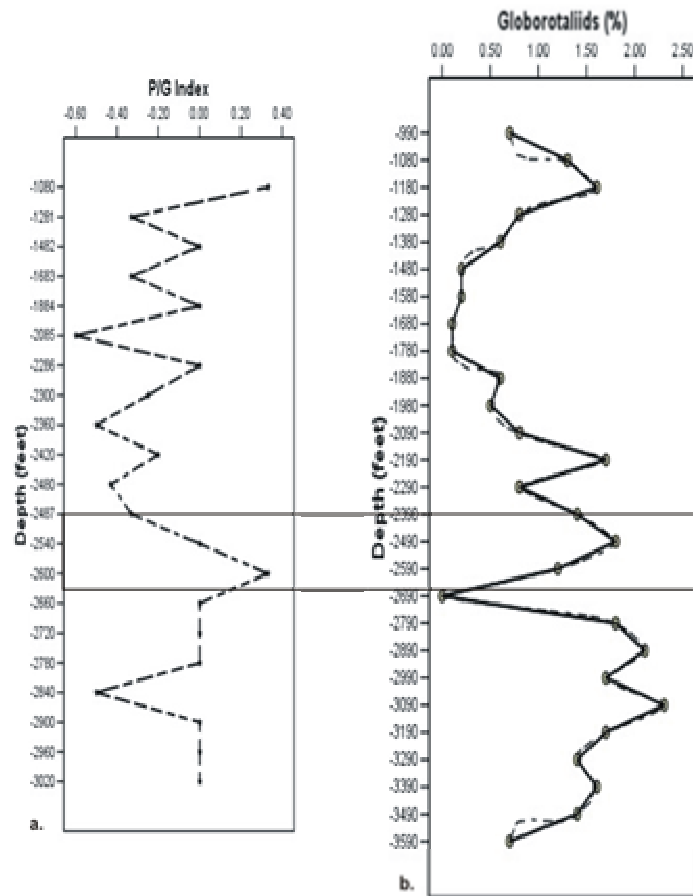


Figura 22. Comportamiento Índice P/G (a) y Globorotalídeos (b) del Pozo Caracolí-1. Se destaca la ocurrencia del máximo en el índice P/G a 2600' y el incremento de Foraminíferos de aguas profundas en 2590'.

La comparación del índice P/G con la curva de los Globorotalídeos y Neogloboquadrínidos en el pozo Caracolí-1, evidencia un incremento de los segundos hacia 2590'; es decir, posterior al máximo del índice P/G.

Pozo Barranquilla-1

El índice P/G en el pozo Barranquilla-1 (figura 23) varía entre -0,50 y 0,20. El máximo valor del índice P/G ocurre a los 8740' en la zona de *G. fohsi peripheroronda* (Mioceno Medio).

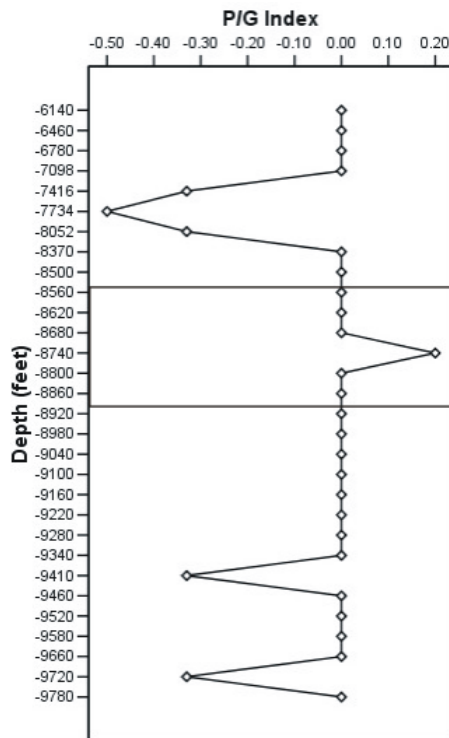


Figura 23. Comportamiento del Índice P/G del Pozo Barranquilla-1. Se destaca la ocurrencia del valor máximo del índice P/G a 8740'

Pozo Merluza-1

Se registran dos valores altos del índice P/G en el pozo Merluza-1 (figura 24): a los 8150' y los 8350' que corresponde con un patrón de descenso en la abundancia y la diversidad. Cabe resaltar que los valores máximos registrados para el índice P/G (0,5 y 0,33 respectivamente) son los más altos para este estudio y que ambos máximos se dan en el Mioceno Superior – Plioceno (zona *G.venezuelana*).

La comparación de los máximos del índice P/G con el comportamiento de los Globorotálidos y Neogloboquadrínidos (figura 24) muestra una concordancia de los máximos del índice P/G (8050' – 8450') con uno de los máximos de foraminíferos planctónicos registrados en el pozo.

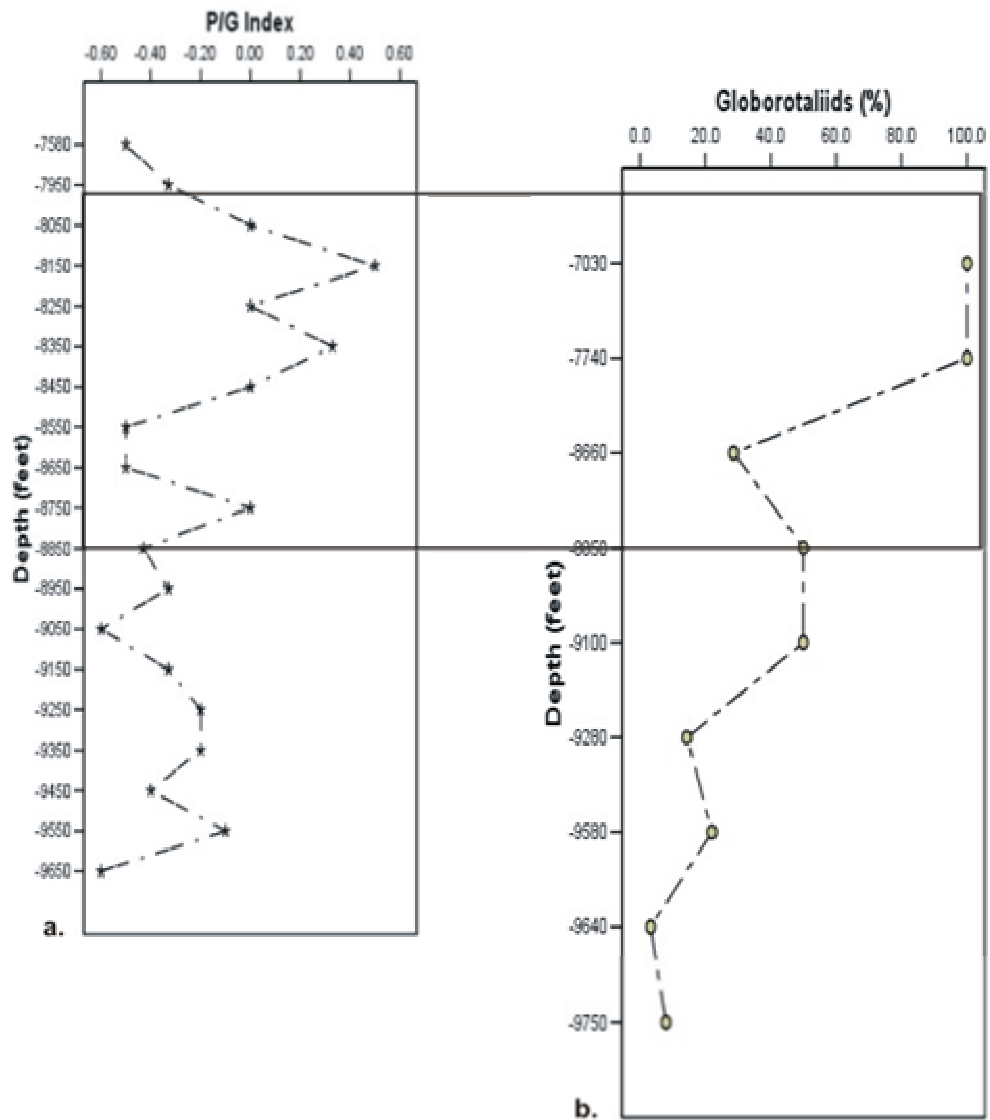


Figura 24. Comparación del Índice P/G (a) y Globorotaliidos (b) del Pozo Merluza-1. Se destacan las profundidades de ocurrencia de los máximos del índice (8050' - 8450') y uno de los máximos de Foraminíferos de aguas profundas en el intervalo 6340' - 8880'.

Pozo Chuchupa-1

El índice P/G en el pozo Chuchupa-1 varía entre -0,71 y 0,14. El máximo ocurre a los 5060' dentro de la zona de *G. venezuelana*, en correspondencia con valores altos de abundancia y diversidad de los dinoflagelados (figura 25). La ocurrencia del máximo en el índice P/G corresponde con un máximo en Globorotaliidos y Neogloboquadrínidos (figura 25)

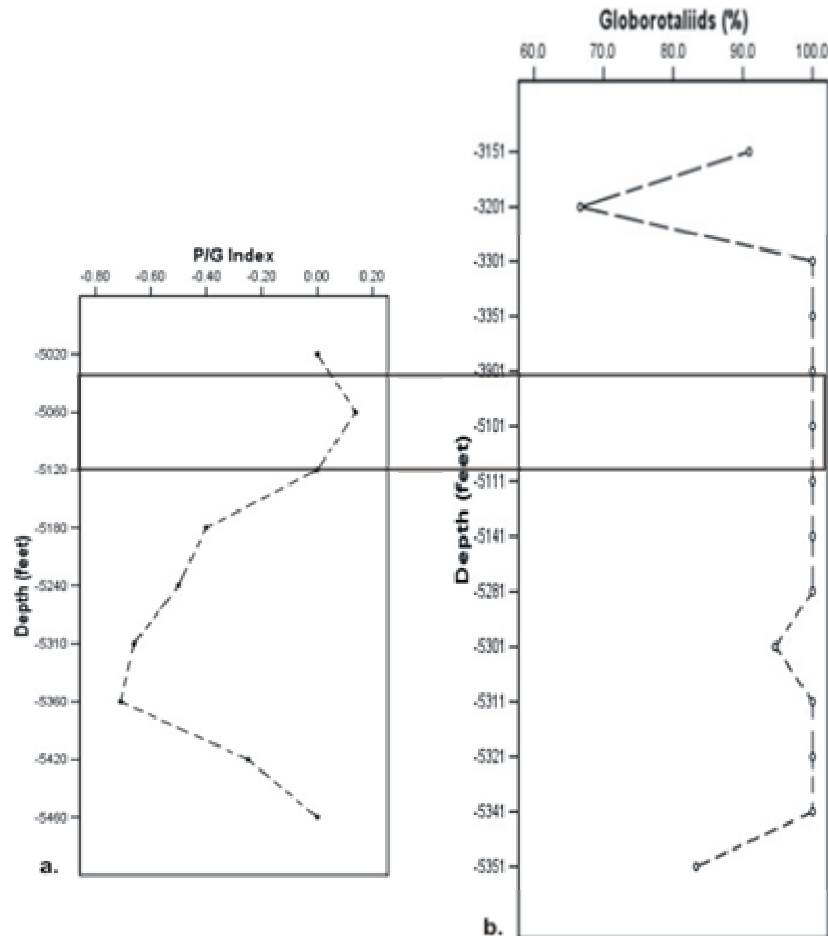


Figura 25. Comportamiento del Índice P/G (a) y Foraminíferos de aguas profundas (b) del Pozo Chuchupa-1. El área rectangular evidencia la ocurrencia de valores máximos del índice y Foraminíferos de aguas profundas en profundidades similares.

La variación en abundancia y composición de las especies fitoplanctónicas, así como el incremento notorio y sostenimiento de las poblaciones algales (floraciones algales o “bloom” algal) en los sistemas acuáticos, tienen diferentes factores de control tales como los nutrientes (macro y micronutrientes), la temperatura, salinidad y turbulencia, dependiendo estos, de procesos físico-químicos como son los ciclos de nutrientes y la circulación (Bolch y

Hallegraeff, 1990). Generalmente, en el caso de los dinoflagelados, la formación de los quistes se registra al final de la floración (Matsuoka y Fukuyo, 1995), como respuesta a condiciones adversas o como estrategia de ahorro energético, variando la composición de especies según los requerimientos específicos (Bravo y Anderson, 1994; Anderson et al, 1982)

La valoración numérica de la composición de quistes en una asociación, puede ser estimada, entre otros por el índice Peridinal/Gonyaulacal (P/G). El índice P/G puede ser interpretado como un cambio en las condiciones de oferta de nutrientes, i.e. una mayor ocurrencia de especies Peridinales indica una mayor paleoproductividad asociada a sistemas de paleosurgencias (Bujak, 1984; Lewis et al, 1990 en Powell et al, 1992; Eshet et al, 1994; Jaramillo y Yepes, 1994).

Actualmente en la sucesión estacional de un sistema de surgencia como i.e Perú y Galicia, se evidencia la dominancia inicial de organismos fotosintetizadores como las diatomeas, seguido de los dinoflagelados y entre estos, el incremento inicial de especies gonyaulacales (autótrofas) las cuales sirven de alimento a las peridinales (heterótrofas) cuando decaen los nutrientes en el medio. De esta forma se favorece el sostenimiento de los consumidores de primer orden como los foraminíferos planctónicos (Jiménez, 1981; Rojas de Mendiola, 1981; Casas et al, 1999).

A una escala temporal mucho mayor y del orden de los miles a centenares de miles de años, la sucesión de dinoflagelados registrada en el pozo Caracol-1 de Peridinales a 2600' a Globorotálidos a 2590' sugeriría eventos análogos.

La ocurrencia de los máximos del índice P/G en relación con incrementos en los porcentajes de Globorotálidos reportados en este estudio, puede compararse con sistemas actuales altamente productivos como la surgencia del Perú y el margen NW de África, los cuales registran una mayor ocurrencia de los foraminíferos de los géneros *Globigerinoides*, *Globorotalia* y *Globoquadrina* cerca de la costa con valores > 60% para estos géneros dentro del total de foraminíferos planctónicos (Thiede y Junger, 1992). De igual manera, en la Surgencia del Perú, Powell et al (1992) registran una mayor ocurrencia de peridinales. Curry et al (1992) relacionan de igual manera la ocurrencia de valores altos de los mismos géneros

de foraminíferos planctónicos asociados con la ocurrencia de sistemas de surgencia debido a los monzones en el mar de Arabia.

La meteorización de los Andes/Himalayas y el consecuente transporte e ingreso de nutrientes al mar ha sido sugerido como parte de los procesos que favorecieron el “bloom biogénico” durante el Mioceno Tardío – Plioceno Temprano (Hermoyian y Owen, 2001), corroborado por la variación de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proveniente de la meteorización química del continente y que se incrementó durante el Mioceno Tardío-Plioceno Tardío (~6.5 a 5ma). Diester-Hass et al (2005) mencionan de igual manera, la relación existente entre el incremento en la productividad en diferentes cuencas y la migración en el $\delta^{13}\text{C}$ durante el Mioceno Tardío – Plioceno Temprano, asociado, entre otros, a un incremento en los aportes terrígenos procedentes de procesos orogénicos. Teniendo en cuenta lo anterior, al igual que la meteorización asociada a la Orogenia Andina durante el Mioceno (Hoorn et al, 1995), el transporte de los sedimentos del paleo-Magdalena de una posición al noreste de la actual durante el Mioceno Temprano, hacia el suroeste en el Mioceno Medio (Bordine, 1974), favorecería así un incremento de nutrientes en el área de influencia del mismo, como en el caso de los pozos Santa Rita-1, Caracolí-1 y Barranquilla-1.

Altos valores del índice P/G, como indicador de productividad, no parece aplicarse a todos los sistemas de surgencia. Este es el caso del sistema Surgencia de Benguela donde Wall et al (1977, en Powell et al, 1992) reportan una mayor ocurrencia de especies gonyaulacales asociadas a ese sistema y en especial *Operculodinium centrocarpum* como especie dominante de la misma. De igual manera, la ocurrencia de gonyaulacales en mayor número, ha sido asociada con ambientes tropicales (e.g. Matsuoka, 1992) y se han reportado florecimientos (“blooms”) de este grupo en relación con incrementos de compuestos nitrogenados (e.g. Anderson, 1998 en Helenes y Cabrera, 2003).

Las especies Gonyaulacales, autótrofas, responden de manera favorable a la disponibilidad de nutrientes en el medio, en especial una alta relación N:P, al favorecerse la fijación del nitrógeno, necesario para el proceso de fotosíntesis (Smayda, 2004). En los ciclos biogeoquímicos, prevalecen los correspondientes a los nutrientes mayores como C, N, P y S; de igual manera, los micronutrientes como Fe, Zn, Mn y Cu, ejercen un factor limitante a los nutrientes mayores en el descenso de las especies autótrofas al disminuir las

concentraciones de N y Fe, puesto que afectan directamente la actividad fotosintética (Geider et al, 1993)

De igual manera, la facultad de los dinoflagelados de desplazarse en la columna de agua, favorece su desarrollo tanto en aguas estratificadas como en sistemas de alta turbulencia (Casas et al, 1999), análogas a las que podrían haberse registrado en el área del paleo-delta del Magdalena, favoreciéndose así su registro.

Lo anterior, podría sustentar la idea de un enriquecimiento de nutrientes en el Valle Inferior del Magdalena asociado con el ingreso de sedimentos transportados por el paleo-Magdalena y que podrían contener, posiblemente, un alto contenido de nitrógeno, favoreciendo el sostenimiento de Gonyaulacales, así como, el alto recobro de palinomorfos continentales en los pozos Santa Rita-1, Caracol-1 y Barranquilla-1

La ocurrencia de valores altos del P/G en el área del VIM, podrían estar asociados, con posibles enriquecimientos pequeños en el contenido de nutrientes, sosteniendo tanto a peridinales como gonyaulacales, en sistemas de surgencias como los que describió Duffield y Stein (1985) para el núcleo DSPD Sitio 362 (Atlántico Este) para el intervalo Mioceno Medio a Plioceno Inferior. Según Duffield y Stein (1985) se registra allí un incremento en la abundancia de Peridinales en los sistemas de surgencia desde el Mioceno Tardío al Plioceno

Los valores del índice P/G registrados en la Baja Guajira, son los más altos dentro del estudio. Se resalta la ocurrencia de los mismos dentro de la zona de *G. venezolana* (Rincón et al, en prep.). El comportamiento de ocurrencia de máximos, sugiere un desplazamiento de estos desde el suroeste (VIM) al noreste (Baja Guajira) y ascendiendo en sentido cronológico, aparentemente siguiendo algún patrón de paleocirculación en dirección NE. Esto podría estar asociado con los cambios en la circulación superficial, como la deflexión hacia el hemisferio norte del flujo este de la Corriente Ecuatorial Norte y una mayor advección al este de la Corriente del Caribe, atribuidos al cierre del Istmo de Panamá (Hay y Broca, 1992).

Los registros de los máximos en el índice P/G en el Mioceno Tardío se encuentran dentro del área ocupada hoy por el sistema de surgencia de la Guajira (e.g. Andrade y Barton, 2005;

Roa, 2005; Bula-Meyer, 1985). Actualmente, la pluma del Magdalena en el Caribe es desviada en sentido oeste por la corriente del Caribe, impidiendo el ingreso de los nutrientes que transporta al sistema de surgencia de la Guajira (Andrade y Barton, 2005; Roa, 2005) al Caribe Sur-occidental. De igual manera, un posible ingreso de nutrientes procedentes del Lago del Maracaibo y del Río Orinoco, ha sido descartado por Andrade y Barton (2005) con base en la interpretación de pigmentos fotosintéticos utilizando imágenes satelitales, en las cuales los pigmentos del Orinoco pueden ser seguidos más lejos en el Caribe Central y en concentraciones menores a las del sistema de surgencia de la Guajira. En el Mioceno Tardío, cuando el paleo - Magdalena desembocaba en una posición similar a la actual (Bordine, 1974) habría existido un escenario paleoceanográfico análogo al presente, excepto por la corriente superficial en sentido este-oeste que transportaba aguas del Caribe al Pacífico (Collins et al, 1996) y que habría favorecido la posible dispersión de los nutrientes del paleo-Magdalena hacia el oeste, en un área mayor.

Si se tienen en cuenta los eventos regionales que se registraron en el Mioceno y en especial en el Mioceno Tardío – Plioceno, relacionados con el Cierre del Istmo de Panamá (e.g. Haug y Tiedemann, 1998; Haug et al, 2001), el cual afectaría los procesos de paleocirculación superficial y generaría los actuales patrones de circulación superficial en el Caribe como el establecimiento de la Corriente del Caribe (~12.4 ma), evento previo al fortalecimiento de la Corriente del Golfo (e.g. Collins et al, 1996; Roth et al, 2000; Prange y Schulz, 2004), se favorecerían el desarrollo de sistemas de surgencia análogas a las actuales en la Guajira y que como sugieren Andrade y Barton (2005) son generadas por una advección anticiclónica hacia el oeste de la Corriente del Caribe.

Descartando la influencia del Orinoco a partir del Mioceno Tardío y aceptando que el paleo-Orinoco habría abandonado el Lago de Maracaibo y tomado su curso actual (Hoorn et al, 1995), el área de la Baja Guajira habría estado libre de alguna influencia fluvial importante durante el Mioceno Tardío.

La existencia de posibles condiciones paleoceanográficas “análogas” a las actuales, los valores del índice P/G, apoyados en la co-ocurrencia con altos porcentajes de Globorotálidos reportados para la Baja Guajira, favorece la idea de una alta disponibilidad de nutrientes en esta zona, sugiriéndose así, un posible inicio del actual sistema de surgencia de la Guajira en el Mioceno Tardío.

6.2 Dinoflagelados: Indicadores paleobatimétricos y paleoambientales

Como se mencionó en la sección 4, los mayores valores de abundancia de dinoflagelados, especialmente en los pozos Santa Rita-1, Caracolí-1 y Barranquilla-1, corresponden con la mayor ocurrencia de especies de los géneros *Operculodinium* y *Lingulodinium*, los cuales son constituyentes importantes de ambientes someros y estuarinos de latitudes medias y altas (Head, 1998; Ellegaard et al, 1994).

La ocurrencia de *Operculodinium* y *Lingulodinium* por lo tanto sugiere ambientes de depósito someros influenciados posiblemente por un paleodelta. Esta interpretación soporta el informe de Ecopetrol-ICP-GOX (2001) donde se sugieren ambientes de plataforma afectados por canales durante el Mioceno Medio, y secuencias deltáicas, durante el Mioceno Tardío. El alto recobro de palinomorfos continentales, especialmente en estos pozos, apoya esta interpretación.

Martínez et al (1994) sugieren para el área norte del Cinturón de San Jacinto, una somerización evidenciada en el reemplazo de foraminíferos planctónicos entre 1680' – 6390' en el pozo Caracolí-1 y el posterior incremento del porcentaje de foraminíferos bentónicos profundos entre 960' – 1680'. Esta somerización favorecería así, el efecto del delta del paleo-Magdalena y la mayor ocurrencia en el VIM de palinomorfos terrestres en comparación con los dinoflagelados para la Unidad Tubará durante el Mioceno Tardío.

Teniendo en cuenta los sedimentos de arenitas cuarzosas, lodolitas y calizas de la Formación Jimol del Mioceno Superior (ECOPETROL-ICP-GER, 1998), así como el alto contenido y asociaciones de dinoflagelados (ver sección 4) y el escaso contenido de palinomorfos en los intervalos inferiores de las secciones revisadas para los pozos Merluza-1 y Chuchupa-1, se sugieren ambientes marinos de plataforma a someros.

El incremento de palinomorfos terrestres y descenso en los dinoflagelados en los intervalos superiores de las secciones estudiadas para los pozos de la Baja Guajira, sugieren una somerización, lo cual estaría confirmando la interpretación de Duque-Caro y Reyes (1999)

Con base en lo anterior se sugieren para el Valle Inferior del Magdalena ambientes someros durante la parte alta del Mioceno Medio para la Unidad Porquero Superior y ambientes de

paleodelta durante el Mioceno Tardío para la Unidad Tubará. En la Baja Guajira se sugieren ambientes de plataforma en la parte alta de la Formación Jimol (Mioceno Medio) con ambientes someros (plataforma interna?) hacia la Formación Castilletes durante el Mioceno Tardío.

7. Conclusiones

Del estudio palinológico (dinoflagelados) de 87 muestras de los pozos Santa Rita-1, Caracolí-1, Barranquilla-1 (Valle Inferior del Magdalena) y Merluza-1 y Chuchupa-1 (Baja Guajira), se concluye:

- El reporte de 42 morfotipos de dinoflagelados, siendo este el primer estudio taxonómico de este grupo para el intervalo Mioceno Medio alto – Mioceno Superior en el Caribe Colombiano.
- Los valores de abundancia y diversidad de dinoflagelados en el Mioceno Medio alto – Mioceno Superior en el Valle Inferior del Magdalena y la Baja Guajira, estarían controlados principalmente por la influencia del paleo-Magdalena y el cambio en los patrones de circulación superficial, respectivamente.
- El sostenimiento de Peridinales y un alto registro de Gonyaulacales y palinomorfos terrestres en el Valle Inferior del Magdalena estaría favorecido por el ingreso de nutrientes y sedimentos transportados y depositados por el paleo-Magdalena en esta área.
- El alto registro de Peridinales en la zona de la Baja Guajira se asocia a la presencia de condiciones favorables de nutrientes, coincidiendo con la diversificación de este grupo durante el Neógeno.
- Con el reconocimiento de 6 posibles zonas de dinoflagelados para el Mioceno Medio alto – Mioceno Superior, se incrementaría la resolución bioestratigráfica, suministrada por otras herramientas bioestratigráficas como los foraminíferos planctónicos o el polen.
- Las condiciones paleoceanográficas durante el Mioceno Tardío en el área de la Baja Guajira, serían análogas a las actuales sugiriendo así el posible inicio del actual sistema de surgencia de la Guajira en el Mioceno Tardío.

- Los ambientes de depósito en el Valle Inferior del Magdalena serían marinos someros durante la parte alta del Mioceno Medio para la Unidad Porquero Superior y ambientes de paleodelta durante el Mioceno Tardío para la Unidad Tubará.
- Los ambientes de depósito en la Baja Guajira serían de plataforma en la parte alta de la Formación Jimol durante el Mioceno Medio, con ambientes someros (plataforma interna) hacia la Formación Castilletes durante el Mioceno Tardío.

Bibliografía

- Anderson, D. M., Aubrey, D. G., Tyler, M. A. and Coates, D. W. 1982. Vertical and horizontal distribution of dinoflagellate cysts in sediments. *Limnol. Oceanogr.* 27:757-765
- Andrade, C. A. and Barton, E. D. 2005. The Guajira Upwelling System. *Continental Shelf Research.* 25:1003-1022
- _____. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research.* 105p.
- Biebow, N. 1996. Dinoflagellatenzysten als indikatoren der Spät- und Postglazialen entwicklung des auftrebsgeschehens vor Peru. *Geomar Rep.*, 57:1–100.
- Bolch, C. J. and Hallegraeff., G. M. 1990. Dinoflagellate cysts in recent marine sediments from Tasmania, Australia. *Botanica Marina.* 33:173-192
- Bordini, B. W. 1974. Neogene Biostratigraphy and paleoenvironments, Lower Magdalena Basin, Colombia. Doctor of Philosophy Dissertation. Louisiana State University. 150p.
- Bravo, I and Anderson, D. M. 1994. The effects of temperature, growth medium and darkness of excysment and growth of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* from northwest Spain. *J. Plankton. Res.* 16:523-525
- Brinkhuis, H. 2002. From greenhouse to icehouse; a dinoflagellate perspective. *In: International Symposium Mesozoic – Cenozoic Bioevents Memories.* 5p.
- Bujak, J.P. 1984. Cenozoic dinoflagellate cysts and acritarchs from the Bering Sea and northern North Pacific, DSDP Leg 19. *Micropaleontology* 30: 180–212.
- Bula-Meyer, G. 1985. Un núcleo nuevo de surgencia en el Caribe Colombiano, detectado en correlación con las macroalgas. *Boletín ECOTROPICA No. 12. UJTL. Departamento de Investigaciones Científicas – Museo del Mar, Bogotá.* 4-25p.
- Chacón, M y Barón, J. 2000. Estudio petrosedimentológico de algunas de las unidades arenosas perforadas en el pozo Ciénaga-1. Subcuenca de Sinú. Valle Inferior del Magdalena. Colombia. *Informe Técnico Ecopetrol.*
- Casas B, Varela, M and Bode, A. 1999. Seasonal succession of phytoplankton species of the coast of A Coruña (Galicia, northwest Spain). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 15(1-4):413-429.
- Coates, A., Jackson, J., Collins, L., Cronin, T., Bybell, L., Jung, P. and Obando, J. 1992. Closure of the Isthmus of Panama: The near-shore marine record of Costa Rica and Western Panama. *Geological Society of America Bulletin.* 104:814 – 828.
- Collins, L., A, Budd., and Coates, A. 1996. Earliest evolution associated with closure of the Tropical American Seaway. *Proc. Natl. Acad. Sci. Evolution.* 93:6069 - 6072
- Cuartas, C. H. 2006. Modelo bioestratigráfico para el Cenozoico de un sector del Caribe Colombiano aplicando métodos cuantitativos. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra. Universidad EAFIT. 100p.
- Curry, W.B., Ostermann, D.R., Guptha, M.V.S and Ittekkot, V. 1992. Foraminiferal production and monsoonal upwelling in the Arabian Sea. *In: Summerhayes, C.P., Prell, W.L. and K.C. Emeis (eds) Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene. Geological Society Special Publication.* 64:93-

- Dale, B.; Dale, A and Jansen, F. 2002. Dinoflagellate cysts as environmental indicators in surface sediments from the Congo deep-sea fan and adjacent regions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 185:309-339
- Diester-Hass, L., Billups, K., and Emeis, K. 2005. In search of the late Miocene–early Pliocene “biogenic bloom” in the Atlantic Ocean (Ocean Drilling Program Sites 982, 925, and 1088). *Paleoceanography*. 20:4001
- De Schepper, S., Head, M.J. and Louwey, S. 2004. New dinoflagellate cyst and incertae sedis taxa from the Pliocene of northern Belgium, southern North Sea Basin. *J.Paleont.*, 78(4):625-644
- De Vernal, A., Mudie, P., Harland, R., Morzadec-Kerfourn, M. T., Turon, J and J. Wrenn. 1992. Quaternary organic-walled dinoflagellate cysts of the North Atlantic Ocean and adjacent seas: ecostratigraphy and biostratigraphy. In: *Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*. 329-346p.
- De Verteuil, L and G. Norris. 1992. Miocene Protoperidiniacean dinoflagellate cyst from the Maryland and Virginia coastal plain. In: *Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*. 391-430p
- _____. 1996. Miocene dinoflagellate stratigraphy and systematics of Maryland and Virginia. *Micropaleontology*, supplement. 42:1-172
- Dueñas, H. 1986. Geología y palinología de la Formación Ciénaga de Oro, Región Caribe Colombiana. *Publ. Geol.Esp.* INGEOMINAS. 18:51 p.
- Duque-Caro H. 2001. Análisis bioestratigráficos de los pozos Cartagena-2, Cartagena-3, Ciénaga-1, Darién-1 en las cuencas de costa afuera del Cinturón de Sinú, de Plato y de muestras varias en la costa NW colombiana. Volumen I. Informe Técnico Ecopetrol
- _____. 1990. Neogene stratigraphy, paleoceanography, and paleogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 77:203– 34
- _____. 1972. Relaciones en la bioestratigrafía y la cronoestratigrafía en el llamado geosinclinal de Bolívar. *Ingeominas Bol. Geol.*, 19 (3):25-68
- Duque-Caro, H and Reyes, R. 1999. Biostratigraphy study integrating seismic data of the Guajira region (onshore and offshore) Ecopetrol, Technical Report.
- Duffield, S.L. and Stein, J.A. 1985. Biostratigraphy and taxonomy of Neogene dinoflagellate cysts in sediments from Walvis Ridge, eastern Atlantic Ocean (Deep Sea Drilling Project Leg 140). *Palynology*, 10:245-246
- Dybjaer, K. 2004. Morphological and abundant variations in *Homotryblum*-cyst assemblages related to depositional environments; uppermost Oligocene - Lower Miocene, Jylland, Denmark. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 206:41-58
- Dybjaer, K and Rasmussen, E. 200. Palynological dating of the Oligocene - Miocene successions in the Lille Baelt area, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*. 47:87-103
- ECOPETROL-ICP-GER. 1998. Evaluación Regional Cuenca de la Baja Guajira. Informe Técnico

- ECOPETROL-ICP-GOX. 2001. Evaluación de la prospectividad del Sector Atlántico. Informe Técnico
- Edwards, L. 1993. *Dinoflagellates: Fossil Prokaryotes and Protist*. Jere H. Lipps Ed. Blackwell Scientific Publications. 105 – 129 p.
- Edwards, L and Andrie, V. 1992. Distribution of selected dinoflagellate cysts in modern marine sediments. In: Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 259-288p.
- Ellegaard, M., Chistensen, N. F. and Moestrup, O. Dinoflagellate cyst from recent Danish marine sediments. *Eur. J. Phycol.* 29:183-194
- Eshet, A., Almogi-Labin, and Bein, A. 1994. Dinoflagellate cyst, paleoproductivity and upwelling systems: A Late Cretaceous example from Israel. *Marine Micropaleontology*. 23: 213-240
- Evitt, W.R. 1985. Sporopollenin Dinoflagellate Cysts: Their Morphology and Interpretation. *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*. 1-333p
- Fatela, F and Taborda, R. 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*. 45:169-174
- Fensome, R.A.; Taylor, F.J.R.; Norris, G.; Sarjeant, W.A.S.; Wharton, D.I; and Williams, G.L. 1993. A Classification of Living and Fossil Dinoflagellates. American Museum of Natural History, *Micropaleontology*, Special Publication. 7:1-351
- Geider, R. J., Greene, R.M., Kolber, Z., MacIntyre, H. L. and Falkowsky, P. G. 1993. Fluorescence assessment of the maximum quantum efficiency of photosynthesis in the western North Atlantic. *Deep Sea Research I*. 40(6):1205-1224
- Guasti, E., Tanja, T., Kouwenhoven, J., Brinkhuis, H. and Speijer, R. P. 2005. Paleocene sea-level and productivity changes at the southern Tethyan margin (El Kef, Tunisia). *Marine Micropaleontology* 55:1 –17
- Guerra, R. 1980. Final Report: Biostratigraphy, paleoenvironments and visual organic geochemical studies. *MOBIL San José 1 Offshore Colombia*. Ecopetrol Technical Report.
- Haug G. and Tiedemann, R. 1998. Effect of the formation of the Isthmus of Panama on Atlantic Ocean thermohaline circulation. *Nature*. 393:673-676
- Haug, G., R, Tiedemann, R, Zahn and Ravelo, C. 2001. Role of Panama uplift on oceanic freshwater balance. *Geology*. 29(3):207-210
- Hay, W., and Broca, J. 1992. Temporal variation in intensity of upwelling off southwest Africa. In: Summerhayes, C.P., Prell, W.L. and K.C. Emeis (eds) *Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene*. Geological Society Special Publication. 64: 463-497
- Head, M.J. 1993. A forum on Neogene and Quaternary dinoflagellates cysts. *Palynology* 17:201 – 239.
- _____. 1996. Late Cenozoic dinoflagellates from the Royal Society Borehole at Ludham, Norfolk, Eastern England. *J. Paleont.*, 70(4):543-570.
- _____. 1997. Thermophilic dinoflagellate assemblage from the mid Pliocene of Eastern England. *J. Paleont.*, 71(2):165-193
- _____. 1998. Marine environmental change in the Pliocene and early Pleistocene of Eastern England: the dinoflagellate evidence reviewed. *Mededelingen Nederlands Institute voor Toegepaste*

Geowissenschaften T.NO, 60:199-226.

_____. 2000. *Geonettia waltonensis*, a new Goniodomacean dinoflagellate from the Pliocene of the North Atlantic Region, and its evolutionary implications. *J. Paleont.*, 74(5): 812-827

Head, M.J and Norris, G. 2003. New species of dinoflagellate cysts and other palynomorphs from the Latest Miocene and Pliocene of DSDP Hole 603C, Western North Atlantic. *J. Paleont.*, 77(1):1-15.

Head, M.J., Riding, J., Eidvin, T. and Chadwick, R.A. 2004. Palynological and foraminiferal Biostratigraphy of (Upper Pliocene) Nordland Group mudstones at Sleipner, northern North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 21:277- 297

Head, M.J and Westphal, H. 1999. Palynology and paleoenvironments of a Pliocene carbonate platform; The Clino Core, Bahamas. *J. Paleont.*, 73(1):1-25

Head, M. J. and Wrenn, J. 1992. A forum on Neogene and Quaternary dinoflagellate cysts. In: *Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.* 201-239p

Helenes, J and Somoza, D. 1999. Palynology and sequence stratigraphy of the Cretaceous of eastern Venezuela. *Cretaceous Research*, 20:447-463

Helenes, J and Cabrera, D. 2003. Oligocene - Miocene palynomorph assemblages from eastern Venezuela. *Palynology*. 27:5-25

Hemleben, C., M. Splinder and Anderson, O.R. 1989. Modern planktonic foraminifera. Springer-Verlag, New York. 364 pp.

Hermoyian, C and Owen, R.M. 2001. Late Miocen-early Pliocene biogenic bloom: Evidence from low-productivity regions of the Indian and Atlantic Oceans. *Paleoceanography*. 16 (1): 95-100

Hernández, R.; Ramírez, V. y Reyes, J. 2003. Evolución geohistórica de las Cuencas del Norte de Colombia. *Memorias VIII Simposio Bolivariano – Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*. 2: 256 –263.

HOCOL. 1993. Lower Magdalena Valley technical evaluation agreement. Confidential phase I report. Vols 1 and 2

Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G., and Lorente, M. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene Northern South America. *Geology*. 23(3): 237–240

ICP. 1995. Manual de pruebas soportadas para procedimientos técnicos de calidad del Laboratorio de Procesamiento de Muestras Geológicas.

ICS. 2004. A Geological Time Scale: International Stratigraphic Chart. *Cambridge University Press*, 589p.

Jaramillo, C and Rueda, M. 2004. Impact of Biostratigraphy on oil exploration. *Memorias 3ra Convención Técnica ACGGP. La inversión en el conocimiento geológico*, P4, CDRom, Bogotá.

Jaramillo, C y Yepes, O. 1994. Palinoestratigrafía del Grupo Oliní (Coniaciano – Campaniano), Valle Superior del Magdalena, Colombia. En: *Etayo, F., de., Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.* Capítulo XVII, 1-18p.

Jiménez, R. 1981. El fitoplancton como posible indicador del afloramiento originado por la Subcorriente Ecuatorial (Corriente de Cromwell) al oeste de las Islas Galápagos. En: *UNESCO 1981.*

Memorias Seminario sobre Indicadores Biológicos del Plancton. 24-44p

Jordan, T. 1975. The present day motion of the Caribbean Plate. *J. Geoph. Res. USA.* Vol. 80

Kameo, K. and Sato, T. 2000. Biogeography of Neogene calcareous nannofossils in the Caribbean and the eastern equatorial Pacific: Floral response to the emergence of the Isthmus of Panama. *Marine Micropaleontology*, 39:201–218.

Katz, R.W., Parlange, M.B and Tebaldi, C. 2003. Stochastic modeling of the effects of large-scale circulation on daily weather in the southeastern U.S. *Climatic Change*, 60:189-216.

Lear, C., Rosenthal, Y and Wriqth, J.D. 2003. The closing of a seaway: Ocean water masses and global climate change. *Earth and Planetary Sciences Letters* 210:425-436

Lewis, J., Dodge, J. D and Powell, A.J. 1990. Quaternary dinoflagellate cysts from the upwelling system offshore Peru, Hole 686B, ODP Leg 112. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results.* ODP, College Station, Texas, 323-328p.

Louwey, S. 1999. New species of organic-walled dinoflagellates and acritarchs from the Upper Miocene Diest Formation northern Belgium (southern North Sea Basin). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 107:109-123

_____. 2000. Dinoflagellate cyst and acritarchs from the Miocene Zonderschots Sands, northern Belgium: stratigraphic significance and correlation with contiguous areas. *Geologica Belgica* 3/1-2:55-65

_____. 2001. New species of dinoflagellate cyst from the Berchem Formation, Miocene, northern Belgium (southern North Sea Basin). *GEOBIOS* 34 (2):121-130

_____. 2002. Dinoflagellate cyst Biostratigraphy of the Upper Miocene Deurne Sands (Diest Formation) of northern Belgium, southern North Sea Basin . *Geol. J.* 37:55-67

Louwey, S., De Conick, J. and Verniers, J. 1999. Dinoflagellate cyst stratigraphy and depositional history of Miocene and Lower Pliocene formations in northern Belgium (southern North Sea Basin). *Geologie en Mijnbouw* 78:31- 46

_____. 2000. Shallow marine Lower and Middle Miocene deposits at the southern margin of the North Sea Basin (northern Belgium):dinoflagellate cyst Biostratigraphy and depositional history. *Geol. Mag.* 137(4):381-394

Louwey, S., Head, M.J. and De Schepper, S. 2004. Dinoflagellate cyst stratigraphy and Palaeoecology of the Pliocene in northern Belgium, southern North Sea Basin. *Geol. Mag.* 141:353-378

Marret, F. 1994. Distribution of dinoflagellate cysts in recent marine sediments from the east Equatorial Atlantic (Gulf of Guinea). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 84:1-22.

Martínez J. I. 1995. Biostratigraphic re - assessment of the Cenozoic Lower Magdalena Valley, Colombia. VI Congreso Colombiano del Petróleo.

_____. 2003. The paleoecology of Late Cretaceous upwelling events from the Upper Magdalena Basin, Colombia. *Palaeos.* 18:305-320

Martínez, J. I., Muñóz, F. y Vélez, M. I. 1994. Revisión y análisis de información bioestratigráfica de las subcuencas Plato-San Jorge del Valle Inferior del Magdalena. *ECOPETROL – ICP.* 80p

Matsuoka, K. 1983. Late Cenozoic dinoflagellates and acritarchs in the Niigata District, Central Japan. *Palaeontographica.* Abt. B. 187:89-154

_____. 1992. Species diversity of modern dinoflagellate cysts in surface sediments around Japanese Islands. In: Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 33- 53p.

Matsuoka, K and Fukuyo, Y. 1995. Manual for modern dinoflagellate cyst study In: *Training Workshop on Monitoring of PSP plankton and shellfish toxicity by WESTPAC-IOC (of UNESCO) at Kitasato University*. 50p.

Matsuoka, K and Head, M.J. 1992. Taxonomic revision of the Neogene marine palynomorph species *Cyclopsiella granosa* (Matsuoka) and *Batiacasphaera minuta* (Matsuoka), and a new species of *Pixidinopsis* Habib (Dinophyceae) from the Miocene of the Labrador Sea. In: Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 165-180p.

McCarthy, F., Gostlin, K., Mudie, P. and Hopkins, J. 2003. Terrestrial and marine palynomorphs as sea-level proxies: an example from Quaternary sediments on the New Jersey Margin, USA. *Micropaleontologic Proxies for Sea-Level Change and Stratigraphic Discontinuities*. SEPM Special Publication No. 75

McCarthy, F and Mudie, P. 1998. Oceanic pollen transport and pollen: dinocysts ratios as markers of Late Cenozoic sea level change and sediment transport. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 138:187-206

McMinn, A. 1991. Recent dinoflagellate cysts from estuaries on the central coast of New South Wales, Australia. *Micropaleontology*, 37(3):297-287

_____. 1992. Quaternary coastal evolution and vegetation history of northern New South Wales, Australia, based on dinoflagellates and pollen. *Quaternary Research* 38:347-358

_____. 1992. Neogene dinoflagellate distribution in the eastern Indian Ocean from Leg 123, site 765. *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*. Vol 123

_____. 1993. Neogene dinoflagellate cyst Biostratigraphy from sites 815 end 823, Leg 133, Northeastern Australian Margin. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 133

McMinn A., Howard, W. and Roberts, D. 2001. Late Pliocene dinoflagellate cyst and diatom analysis from a high resolution sequence in DSDP Site 594, Chatham Rise, south west Pacific. *Marine Micropaleontology*. 43:207- 221

Moldowan, J and Tayzina, N. 1998. Biogeochemical evidence for dinoflagellate ancestors in the Early Cambrian. *Science* 281. 1168-1170p.

Morzadec-Kerfourn, M.T. 1992. Estuarine dinoflagellate cysts among oceanic assemblages of Pleistocene deep-sea sediments from the West African Margin and their paleoenvironmental significance. In: Head, M. J., and Wrenn, J. H., Eds., *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. Dallas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 133-146p.

Prange, M and Schulz, M. 2004. A coastal upwelling seesaw in the Atlantic Ocean as a result of the closure of the Central American Seaway. *Geophysical Research Letters*. 31p

Parrish, J. 1990. Paleooceanographic and paleoclimatic setting of the Miocene phosphogenic episode. In Burnett, C.C. and Riggs, S. R. Eds. *Phosphate Deposits of the world. Neogene to Modern Phosphorites*. Cambridge University Press. 3: 223–240

Petters, V and Sarmiento, R. 1956. Oligocene and Lower Miocene Biostratigraphy of the Carmen-Zambrano areas, Colombia. *Micropaleontology*, 2: 7-35

Pince, J. M.; Osorio, C.; Mouly, B.; and Amaral, J. 2003. Tertiary depositional environments and reservoir properties in the Sinú Accretionary Prism (Offshore – Colombia). *Memorias VIII Simposio Bolivariano – Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*. 2: 348 – 353.

Powell, A.J., Lewis, J and Dodge, J. 1992. The palynological expressions of post-Palaeogene upwelling: a review. In: *Summerhayes, C.P., Prell, W.L. and K.C. Emeis (eds) Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene. Geological Society Special Publication*. 64:215-226

Purves, W.; Sadava, D.; Orians, G and Heller, H. 2005. Life: *The science of biology. Seventh Edition. Courier Companies Inc.* 500pp

Ramírez, R. 2004. Middle to Late Eocene dinoflagellate cysts and fungal spores from the east coast of the Maracaibo Lake, Venezuela (Biostratigraphy, paleoecology and taxonomy) Ph. D dissertation Eberhard-Karls-Universitats Tübingen. 300p.

Rasmussen, E and Dybjaer, K. 2005. Sequence stratigraphy of the Upper Oligocene – Lower Miocene of eastern Jylland, Denmark: role of structural relief and variable sediment supply in controlling sequence development. *Sedimentology* 52:25-63

Reyes, A., Montenegro, G., y G3mez, P.D. 2004. Tectonoestratografa y evoluci3n geol3gica del Valle Inferior del Magdalena. *Boletín de Geología*. 26(42):19–38

Rinc3n, D. Rinc3n, D.; Cárdenas, A; Pulido, M.; Arenas, J.; Molinares, C.; Caicedo, C; Cuartas, C.H. and Jaramillo, C. 2005.(en preparaci3n) Oligocene-Pliocene foraminifera biostratigraphy from southwest Caribbean.

Roa, C L. 2005. Variabilidad Estacional de la concentraci3n de clorofila-a superficial en el Caribe colombiano, obtenida mediante el sensor SeaWiFS. *Tesis (Biol3gico Marino). Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina*. 114p.

Rochon, A., De Vernal, A., Turon, J.M. and Head, M.J. 1999. Distribution of recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *AASP Contributions Series Number 35*. 152p.

Rojas de Mendiola, B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian coast. In: *Rhichards, F.A (ed.) Coastal Upwelling, Coastal and Estuarine Sciences 1. American Geophysical Union, Washington DC*, 348-356

Roth, J., Droxler, A., and Kameo, K. 2000. The Caribbean carbonate crash at the Middle to Late Miocene transition: Linkage to the establishment of the modern Global Ocean Conveyor In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 165: 249 – 273

Rubio, R., y Ramírez, V. 1999. Cuenca de la Guajira: Defini3n cronoestratigrfica e implicaciones exploratorias. *ECOPETROL – Vicepresidencia Adjunta de Exploraci3n, Informe Técnico*.

Sluijs, A., Pross and Brinkhuis, H. 2005. From greenhouse to icehouse; organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene. *Earth-Science Reviews* 68: 281-315.

Thiede, J and Junger, B. 1992. Faunal and floral indicators of oceans coastal upwelling (NW African and Peruvian Continental Margins). In: *Summerhayes, C.P., Prell, W.L. and K.C. Emeis (eds) Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene. Geological Society Special Publication*. 64:47-76

Traverse, A. 1988. *Paleopalynology*. Allen and Unwin Inc. 600p

Van Simaeys, S. 2004. Stratigraphic and Paleoenvironmental Analysis of the Rupelian and Chattian in their Type Regions: Implications for Global Oligocene Chronostratigraphy. *Unpublished PhD thesis, K.U.Leuven*, 201 pp

Williams, G.L., Stover, L.E., and Kidson, E.J. 1993. Morphology and stratigraphic ranges of selected Mesozoic–Cenozoic dinoflagellate taxa in the Northern Hemisphere. *Pap.—Geol. Surv. Can.*, 92–10.